



WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM

FLANDERS HYDRAULICS
RESEARCH

BENEDEN ZEE- EN WESTERSCHELDE MORFOLOGISCHE ANALYSE VAN DE BAGGER- EN STORTINTENSITEITSDATA VAN 2000 TOT EN MET 2005



Vlaamse Overheid
Departement Mobiliteit en Openbare Werken
Waterbouwkundig Laboratorium

MODEL 791/02

MORFOLOGISCHE ANALYSE VAN DE BAGGER-
EN STORTINTENSITEITSDATA VAN DE
BENEDEN ZEE- EN WESTERSCHELDE
VAN 2000 TOT EN MET 2005

Eindrapport

Juni 2007

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave	i
Lijst van de tabellen	iii
Lijst van de figuren	iv
Lijst van de bijlagen	v
1 Situering	1
2 Doelstelling	2
3 Leeswijzer	3
4 Beschikbare data	4
4.1 Topo-bathymetrie	4
4.2 Menselijke ingrepen	6
4.2.1 Baggeren en storten	6
4.2.2 Zandwinning	7
5 Verwerking BIS data	9
5.1 Gehanteerde verwerkingsprocedure	9
5.2 Aanpassingen aan de verwerkingsprocedure	9
5.2.1 Bagger- en storthoeveelheden Beneden Zeeschelde	10
5.2.2 Bagger- en storthoeveelheden westelijk deel Westerschelde	10
5.2.3 Storthoeveelheden 2004 Schaar van Waarde	10
5.3 Resultaten verwerkte BIS data	10
6 Erosie- en sedimentatiepatronen Schelde	12
6.1 Globale erosie-sedimentatiepatronen	12
6.1.1 Westerschelde	12
6.1.2 Beneden Zeeschelde	13
6.2 Baggerinspanning op de drempels	13
6.2.1 Jaarlijkse baggervolumes	13
6.2.2 Aanzandingssnelheid van de drempels	14
6.3 Dynamiek van de stortlocaties	14
6.3.1 Schaar van de Spijkerplaat	15
6.3.2 Vloedschaar Everingen	16
6.3.3 Ellewoutsdijk	16
6.3.4 Ebschaar Everingen	16
6.3.5 Gat van Ossenissee	16
6.3.6 Biezelingse Ham	17
6.3.7 Platen van Ossenissee	17
6.3.8 Schaar van Waarde	17
6.3.9 Schaar van Ouden Doel	18
6.3.10 Overige stortvakken	18
7 Zandbalans Schelde-estuarium	19
7.1 Inleiding	19
7.2 Uitgangspunten en methodieken	19
7.2.1 Indeling in deelgebieden	19
7.2.2 Synchronisatie van lodingsdata	19
7.2.3 Bagger- en storthoeveelheden	20
7.2.4 Zandwinhoeveelheden	21
7.2.5 Berekeningswijze zandbalans	21
7.2.6 Invloed onzekerheden	22
7.3 Resultaten Beneden Zeeschelde	22
7.3.1 Menselijke ingrepen	22
7.3.2 Zandbalans per balansvak	23
7.3.3 Sedimentuitwisseling tussen balansvakken	24
7.3.4 Globale zandbalans Beneden Zeeschelde	24
7.4 Resultaten Westerschelde	25

7.4.1	Menselijke ingrepen.....	25
7.4.2	Zandbalans per balansvak	25
7.4.3	Sedimentuitwisseling tussen balansvakken	26
7.4.4	Globale zandbalans Westerschelde.....	27
7.5	Resultaten Schelde-estuarium.....	27
7.6	Gevoeligheidsonderzoek hypothesen.....	28
7.6.1	Sedimenttransport ter hoogte van Rupelmonde	28
7.6.2	Sedimentimport Verdrongen Land van Saeftinge	29
7.7	Vergelijking met historische studies.....	29
7.7.1	Volumebalans Beneden Zeeschelde.....	29
7.7.2	Volumebalans Westerschelde.....	30
8	Natuurlijke erosie proefstorting Walsoorden.....	32
8.1	De stortproef bij Walsoorden.....	32
8.2	Onderzoek erosie proefstorting Walsoorden	33
8.2.1	Analyse op basis van multibeam opmetingen.....	34
8.2.2	Analyse op basis van volumeverandering.....	36
8.3	Besluiten.....	44
9	Dynamiek stortingen Schaar van Waarde.....	46
9.1	Baggeren en storten in het Schelde-estuarium.....	46
9.2	Stortingen in Schaar van Waarde	46
9.3	Zandwinning in Schaar van Waarde	47
9.4	Onderzoek dynamiek gestorte specie.....	48
9.4.1	Analyse op basis van multibeam opmetingen.....	48
9.4.2	Analyse op basis van volumeverandering.....	50
9.4.3	Analyse op basis van bodemvormen	58
9.5	Besluiten.....	62
10	Vergelijking proefstorting Walsoorden versus stortingen in Schaar van Waarde	64
10.1	Uitvoering van de storting	64
10.2	Efficiëntie storttechniek	64
10.3	Morfologische evolutie storting.....	64
11	Conclusies en aanbevelingen.....	66
11.1	Inleiding.....	66
11.2	Conclusies.....	66
11.3	Aanbevelingen	68
12	Referenties	70

Bijlagen

LIJST VAN DE TABELLEN

Tabel 1 : Karakteristieke week van opname voor de 6 lodingsvakken in de Westerschelde	4
Tabel 2 : Karakteristieke week van opname voor de 5 lodingsvakken in de Beneden Zeeschelde	4
Tabel 3 : Vergelijking BIS en baggerstatistiek (BS) voor de Westerschelde (boven) en de Beneden Zeeschelde (onder)	11
Tabel 4 : Relatieve baggervolumes (in %) per jaar en gemiddelde 2000-2005 ten opzichte van totaal baggervolume Schelde-estuarium	13
Tabel 5 : Totale baggervolumes 2000-2005 en jaarlijkse aanzandingsnelheid van de drempels in het Schelde-estuarium	14
Tabel 6 : Relatieve stortvolumes (in %) per jaar en gemiddelde 2000-2005 ten opzichte van totaal stortvolume Schelde-estuarium	15
Tabel 7 : Sedimentatie / erosiesnelheid proefstorting Walsoorden.....	44
Tabel 8 : Richting bodemstroming stortvak "Schaar van Waarde".....	51
Tabel 9 : Stortefficiëntie kleptechniek, stortvak "Schaar van Waarde"	53
Tabel 10 : Sedimentatie / erosiesnelheid storting "Schaar van Waarde"	58
Tabel 11 : Vergelijking sedimentatie / erosiesnelheid storting "Schaar van Waarde"	65

LIJST VAN DE FIGUREN

Figuur 1 : Aanduiding lozingsvakken Beneden Zee- en Westerschelde.....	5
Figuur 2 : Aanduiding multibeam opname zone A & B van het project in situ stortproef Walsoorden....	6
Figuur 3 : Baggerintensiteitskaart Westerschelde 2005.....	7
Figuur 4 : Geschematiseerde zandwinintensiteitskaart Westerschelde 2005.....	8
Figuur 5 : Schematische weergave hypothese lineaire morfologische evolutie.....	20
Figuur 6 : Jaarlijkse ingreepvolumes Beneden Zeeschelde.....	23
Figuur 7 : Zandbalans van de Zeeschelde	24
Figuur 8 : Jaarlijkse ingreepvolumes Westerschelde	25
Figuur 9 : Zandbalans van de Westerschelde.....	27
Figuur 10 : Zandbalans van het Schelde-estuarium (exclusief monding)	28
Figuur 11: Sedimentuitwisseling tussen Westerschelde en monding onder verschillende hypothesen	29
Figuur 12 : Zandbalans Beneden Zeeschelde – vergelijking met studie [6]	30
Figuur 13 : Zandbalans Westerschelde – vergelijking met studie [6].....	30
Figuur 14 : Sproeiponton (boven) en spreekop (onder)	32
Figuur 15 : Uitvoering stortproef Walsoorden.....	33
Figuur 16 : Evolutie profiel langsraai door stortzone	34
Figuur 17 : Evolutie stortproef Walsoorden	35
Figuur 18 : Erosie/sedimentatie stortproef Walsoorden	36
Figuur 19 : Rekenvakken zone stortproef	37
Figuur 20 : Ruimtelijke verdeling stortingen Walsoorden	38
Figuur 21 : Ruimtelijke verdeling stortefficiëntie	38
Figuur 22 : Volumebalans gecumuleerd voor alle rekenvakken	39
Figuur 23 : Volumebalans per kolom.....	40
Figuur 24 : Evolutie stortproef Walsoorden.....	41
Figuur 25 : Schematische evolutie zandbalans in de tijd	42
Figuur 26 : Volumebalans per eenheidsoppervlak van de stortvakken	43
Figuur 27 : Overzicht stortvakken Westerschelde.....	46
Figuur 28 : Stortlocatie “Schaar van Waarde” (zwart) & zandwinvak V (rood)	47
Figuur 29 : Evolutie profiel langsraai door stortzone.....	49
Figuur 30 : Evolutie stortingen Schaar van Waarde.....	49
Figuur 31 : Erosie/sedimentatie stortingen Schaar van Waarde.....	50
Figuur 32 : Rekenvakken stortvak Schaar van Waarde.....	51
Figuur 33 : Ruimtelijke verdeling menselijke ingrepen “Schaar van Waarde”	52
Figuur 34 : Volumebalans gecumuleerd voor alle rekencellen	53
Figuur 35 : Oriëntatie bodemvormen ten opzichte van rekenrooster.....	55
Figuur 36 : Schematische evolutie zandbalans in de tijd	56
Figuur 37 : Volumebalans per eenheidsoppervlak van rekenvak B2.....	57
Figuur 38 : Evolutie van de bodemvormen in de tijd (Schaar van Waarde).....	59
Figuur 39 : Dominante stroomrichting (blauwe pijl) en oriëntatie bodemvormen.....	60
Figuur 40 : Analyse voortplanting bodemvormen (blauwe pijl)	61

LIJST VAN DE BIJLAGEN

Bijlage A	Figuren buiten de tekst
Bijlage B	Overzicht van de morfologische monitoringsplans
Bijlage C	Berekening verhouding beunvolume – in situ volume op basis van BIS data
Bijlage D	Overzicht peilplans en bijhorende ingreeplocaties
Bijlage E	Schatting sedimenttransport in stortvak “proefstorting Walsoorden”
Bijlage F	Schatting sedimenttransport in stortvak “proefstorting Schaar van Waarde”

1 SITUERING

In het kader van de Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium van 11 maart 2005 werden door de Nederlandse en Vlaamse regering besluiten genomen die aanleiding zijn voor de uitvoering van een aantal projecten in het Schelde-estuarium [1]. Onderhavige studie werd uitgevoerd in het kader van het project Morfologisch Beheer, onderdeel van het programma Toegankelijkheid. Het doel van dit project is het ontwikkelen van een toekomstig morfologisch beheer voor het Schelde-estuarium gebaseerd op het concept van flexibel storten. Naast proefprojecten op terrein wordt hiervoor eveneens gericht onderzoek uitgevoerd, teneinde de kennis van het complexe systeem beter te begrijpen.

Om de toegankelijkheid van de Scheldehavens te garanderen, wordt sinds eind 19e eeuw onderhoudsbaggerwerk op de natuurlijke drempels in het Schelde-estuarium uitgevoerd. Wegens de beperkte uitwisseling van sediment tussen de Westerschelde en de monding, wordt het gebaggerde sediment teruggestort in het estuarium. Vroeger werden deze menselijke ingrepen per bagger- en stortplaats geregistreerd. Vanaf 1999 wordt deze data opgeslagen als gedetailleerde bagger- en stortintensiteitskaarten. Deze bagger- en stortintensiteiten zijn terug te vinden in het Bagger Informatie Systeem (BIS) van afdeling Maritieme Toegang.

In het verleden werden reeds talrijke studies uitgevoerd waarbij de invloed van de bagger- en storthoeveelheden op de locale topo-bathymetrie en de zandhuishouding van het estuarium werd bestudeerd [2,3,4,5,6]. Bij deze studies werden de bagger- en storthoeveelheden uniform verdeeld over de vergunde zones. Nu de gedetailleerde bagger- en stortintensiteitskaarten vanaf 2000 beschikbaar zijn, kunnen deze studies opnieuw met een veel grotere nauwkeurigheid worden uitgevoerd. Hierbij zal het inzicht in het aanzanden van de natuurlijke drempels en het transport van het gestorte materiaal vergroten. Bovendien zal het opstellen van een zandbalans op basis de meest recente beschikbare data duidelijkheid scheppen over de invloed van de gemaakte aannames bij studies uit het verleden.

In het kader van de LangeTermijnVisie (LTV) Schelde-estuarium [7] werd door een internationaal onafhankelijk expertenteam – aangesteld door de haven van Antwerpen – het idee geopperd om baggerspecie in de toekomst te gebruiken om de morfologie van het estuarium te sturen [8]. Het storten van baggerspecie op weloverwogen locaties – buiten de traditionele stortlocaties – zou een proactieve bijdrage kunnen leveren aan het opgemaakte streefbeeld binnen de LTV voor het estuarium. Als pilootproject werd het aanbrengen van baggerspecie langs de zeewaartse tip van de plaat van Walsoorden voorgesteld [9].

Door het Waterbouwkundig Laboratorium werd de haalbaarheid van dit pilootproject onderzocht in 2002 - 2003 [10]. Geen van de resultaten van dit onderzoek sprak de haalbaarheid van het project tegen. De conclusies van dit onderzoek werden bevestigd door een groep internationale experts (de zongenaamde Second Opinion) aangesteld door ProSes [11]. De finale haalbaarheid van de strategie moest aangetoond worden door het uitvoeren van een in situ stortproef. De locatie waar deze stortproef werd uitgevoerd, viel binnen het vergunde stortvak “Schaar van Waarde”.

Van 17 november 2004 tot 20 december 2004 werd 500.000 m³ gestort aan de zeewaartse tip van de plaat van Walsoorden. Om de effecten van deze in situ proefstorting te bestuderen, werd een uitgebreid morfologisch en ecologisch monitoringprogramma opgezet. Deze monitoringgegevens zijn nu verzameld [12] en vanuit het project Morfologisch Beheer is besloten om op deze data een morfologische analyse te laten uitvoeren door het Waterbouwkundig Laboratorium.

2 DOELSTELLING

De doelstelling van deze opdracht is meerledig:

- In kaart brengen van de erosie-sedimentatie patronen van de Beneden Zee- en Westerschelde voor de periode 2000 tot en met 2005. Deze patronen zullen inzicht verschaffen in het aanzandingsproces van de natuurlijke drempels in het estuarium, alsook over de dynamiek van de stortlocaties.
- Opstellen van een zandbalans van de Beneden Zee- en Westerschelde voor de periode 2000 tot en met 2005. Aanvullend aan deze zandbalans zal een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd van de aannames ter hoogte van de opwaartse rand van het studiegebied en het Verdrongen Land van Saeftinge.
- Het naar voor brengen van het 'natuurlijke' erosiepatroon van de in situ stortproef van 500.000 m³ baggerspecie te Walsoorden op basis van frequente multibeam opmetingen en gedetailleerde stortgegevens.
- Het in beeld brengen van de sedimenttransportrichtingen ter hoogte van de plaat van Walsoorden aan de hand van de voortplanting van duinen en ribbels.
- Onderzoeken of baggerspecie gestort in de Schaar van Waarde terug naar de drempel wordt getransporteerd ("recirculatie") op basis van frequente multibeam opmetingen.

3 LEESWIJZER

In de voorgaande 2 hoofdstukken werd onderhavige studie gesitueerd binnen de lopende onderzoeksprojecten betreffende systeemkennis van het Schelde-estuarium en werden de doelstellingen geformuleerd.

In het volgende hoofdstuk – hoofdstuk 4 – zal kort worden ingegaan op de vele data die voor deze studie werd gebruikt. Voor het eerst sinds de ingebruikname van het Bagger Informatie Systeem (BIS) van afdeling Maritieme Toegang werd gebruik gemaakt van deze data in het kader van een studieproject. De verwerking van de BIS data naar intensiteitskaarten wordt beschreven in hoofdstuk 5.

De erosie-sedimentatiepatronen van de Beneden Zee- en Westerschelde worden besproken in hoofdstuk 6. Hierbij zal eveneens de aanzandingssnelheid op de drempels in het estuarium bestudeerd worden, alsook de dynamiek van de stortlocaties. In hoofdstuk 7 wordt de zandbalans voor de periode 2000 tot en met 2005 uitvoerig besproken.

Eind 2004 werd ter hoogte van de zeewaartse tip van de plaat van Walsoorden een in situ stortproef van 500.000 m³ baggerspecie uitgevoerd. De morfologische evolutie van deze storting wordt uitgebreid besproken in hoofdstuk 8.

Op basis van de frequente multibeam opmetingen van het studiegebied rond de plaat van Walsoorden – opgemeten in het kader van het proefproject te Walsoorden – wordt eveneens de morfologische evolutie van het onderhoudsbaggerwerk in het stortvak Schaar van Waarde bestudeerd. De resultaten van deze analyse zijn terug te vinden in hoofdstuk 9.

Hoofdstuk 10 tracht de resultaten van hoofdstukken 8 en 9 met elkaar te vergelijken. Op die manier wordt nagegaan in welke mate er een verschil is tussen de 2 stortlocaties (weliswaar binnen hetzelfde stortvak) en verschillende storttechnieken.

De conclusies en aanbevelingen van deze studie worden gegeven in hoofdstuk 11, het laatste hoofdstuk van dit rapport. Hierna volgt een lijst van relevante referentiewerken.

Om de vele namen die in dit rapport worden gebruikt te situeren worden in Figuur A.1 alle bagger- en stortlocaties van de Beneden Zeeschelde gegeven, in Figuur A.2 alle bagger- en stortlocaties van de Westerschelde. Deze figuren werden overgenomen uit de baggerstatistiek rapporten van afdeling Maritieme Toegang.

4 BESCHIKBARE DATA

Om de doelstelling van deze opdracht te kunnen realiseren, is een uitgebreide dataset onontbeerlijk. Naast topo-bathymetrische opnames van het studiegebied, is gedetailleerde informatie over de menselijke ingrepen in het systeem noodzakelijk. Een overzicht van de in deze studie gebruikte data wordt gegeven in de volgende paragrafen.

4.1 Topo-bathymetrie

De topo-bathymetrie van het Schelde-estuarium wordt regelmatig opgemeten met 2 complementaire technieken: het intertidale gebied wordt opgemeten met de Light Detection and Ranging techniek (LIDAR), het subtidale gebied aan de hand van de single-beam techniek (SB). Combinatie van beide meettechnieken geeft een gebiedsdekkende topo-bathymetrische opname.

De topo-bathymetrie van de Westerschelde wordt jaarlijks opgemeten door Rijkswaterstaat Zeeland. Voor deze opmetingen wordt de Westerschelde tussen Vlissingen en de Belgisch-Nederlandse grens in 6 lodingsvakken opgedeeld zoals weergegeven in Figuur 1. Gezien de uitgestrektheid van de lodingsvakken, worden deze verspreid over enkele dagen tot zelfs enkele weken opgemeten. In onderstaande tabel wordt de karakteristieke week van opname – gedefinieerd als het midden van de periode waarover de lodingen in een peilvak zijn uitgevoerd – weergegeven. De topo-bathymetrische data van 1999 tot en met 2005 werd gebruikt voor deze studie. Rijkswaterstaat Zeeland verwerkt de meetdata: door interpolatie wordt hiervan een regelmatig rooster van 20 x 20 m gemaakt.

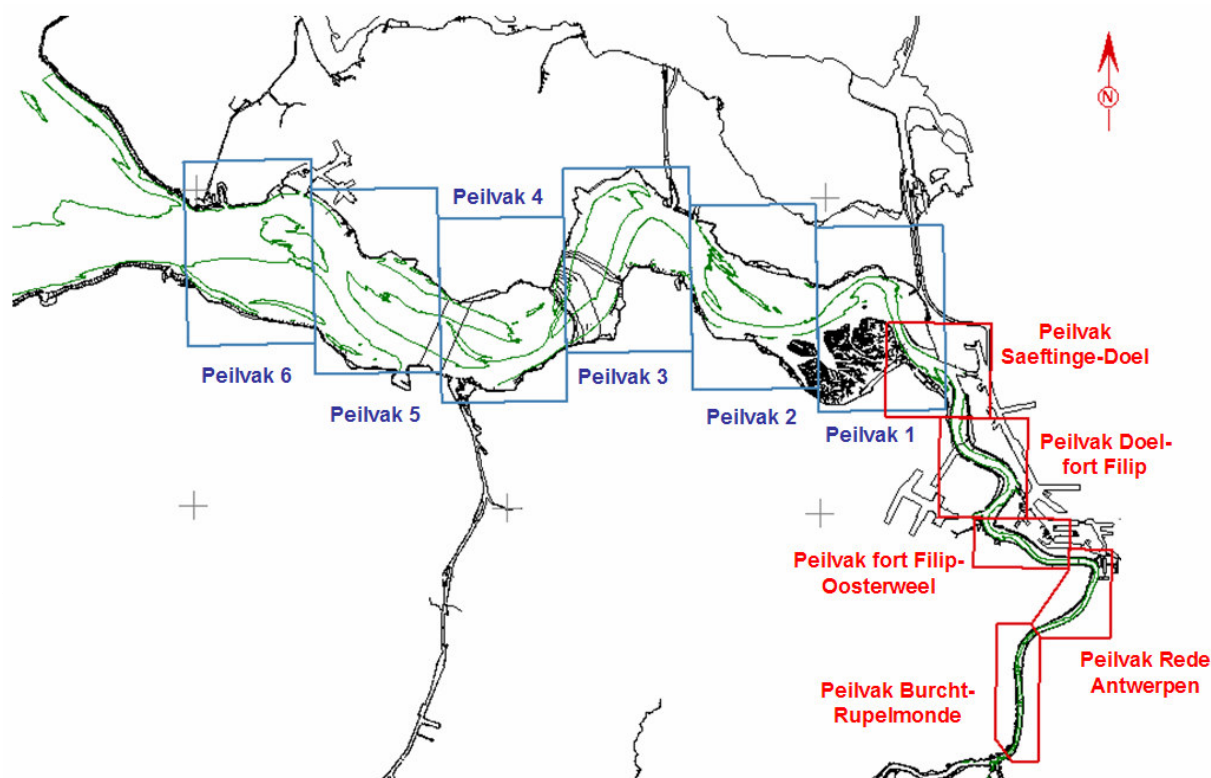
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Vak 1	7	10	45	18	25	6	2
Vak 2	13	11	42	12	16	26	3
Vak 3	4	8	41	11	14	15	4
Vak 4	43	17	13	23	13	13	6
Vak 5	15	15	8	19	10	10	9
Vak 6	18	24	7	15	9	9	10

Tabel 1 : Karakteristieke week van opname voor de 6 lodingsvakken in de Westerschelde

De topo-bathymetrie van de Beneden Zeeschelde wordt 2-jaarlijks opgemeten door afdeling Hydrografie van de Vlaamse overheid: alle even jaren wordt de zone tussen de Belgisch-Nederlandse grens en fort Filip opgemeten, de oneven jaren de zone tussen fort Filip en Rupelmonde. De hierbij gehanteerde lodingsvakken van de Beneden Zeeschelde worden op Figuur 1 aangeduid. In Tabel 2 wordt de karakteristieke week van opname voor deze lodingsvakken gegeven. De afdeling Hydrografie staat in voor de verwerking van deze meetdata: door interpolatie wordt van de metingen een regelmatig rooster van 5 x 5 m gemaakt.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Saeftinge - Doel	36	-	43	-	40	-
Doel - Fort Filip	40	-	43	-	42	-
Fort Filip - Oosterweel	-	47	-	41	-	48
Rede Antwerpen	-	42	-	41	-	42
Burcht - Rupelmonde	-	40	-	41	-	38

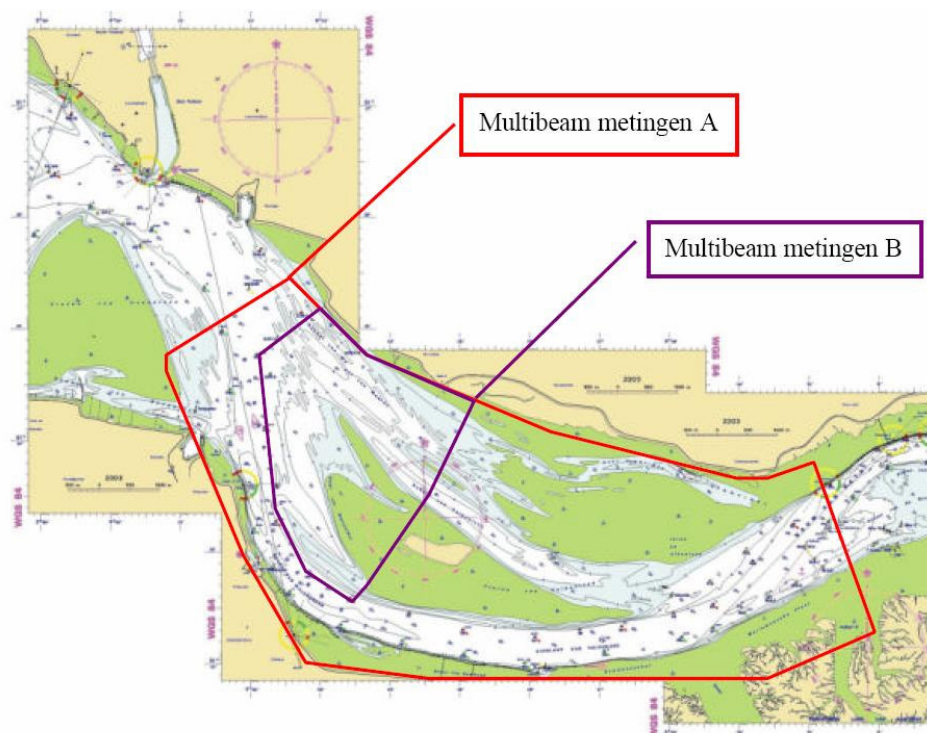
Tabel 2 : Karakteristieke week van opname voor de 5 lodingsvakken in de Beneden Zeeschelde



Figuur 1 : Aanduiding lozingsvakken Beneden Zee- en Westerschelde

In opdracht van het Waterbouwkundig Laboratorium werd binnen het project in situ stortproef te Wals-oorden het gebied tussen de Drempel van Hansweert en de Schaar van de Noord vanaf november 2004 tot en met december 2005 frequent opgemeten. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de multi-beam techniek (MB). Deze topo-bathymetrische monitoring werd bovendien voortgezet in 2006 en 2007. Hierbij kan een onderscheid gemaakt worden tussen de uitgestrekte zone A en de beperkte zone B (zie Figuur 2).

Zone A – omvattende het gebied tussen Hansweert en Schaar van de Noord – werd opgemeten met een 2-maandelijkse frequentie van november 2004 tot januari 2006, met een maandelijkse frequentie vanaf januari 2006. Zone B – het gebied ter hoogte van de zeewaartse tip van de plaat van Walsoor-den – werd tussen november 2004 en maart 2005 wekelijks opgemeten, vanaf maart 2005 tot juni 2005 2 tot 3-wekelijks en vanaf juni 2005 tot januari 2006 maandelijks. Een gedetailleerd overzicht van de uitgevoerde multibeam opmetingen en bijhorende datum van opname wordt gegeven in bijlage B. Het niveau van detail van de opmetingen is groot: meerdere meetpunten per vierkante meter. Uit de opmetingen werd een rooster met een resolutie van 1 meetpunt per vierkante meter gemaakt, dat gebruikt werd in deze studie. Individuele ribbels en duinen zijn hierdoor op dit rooster duidelijk te onderscheiden.



Figuur 2 : Aanduiding multibeam opname zone A & B van het project in situ stortproef Walsoorden

Aanvullend aan de multibeam opmetingen werden LIDAR metingen uitgevoerd. Deze metingen werden uitgevoerd voor het gebied in zone A (zie Figuur 2). Combinatie van een multibeam opname bij hoogwater en een LIDAR meting bij laagwater geeft een gebiedsdekkende topo-bathymetrische kaart. In totaal werden in het kader van de stortproef bij Walsoorden 3 LIDAR opnames uitgevoerd, respectievelijk in november 2004, juni 2005 en oktober 2005.

4.2 Menselijke ingrepen

Om de toegankelijkheid van de Scheldehavens te garanderen, is continu onderhoudsbaggerwerk op de natuurlijke drempels in het Schelde-estuarium noodzakelijk. Wegens de beperkte uitwisseling van sediment tussen de Westerschelde en de monding, wordt het gebaggerde sediment teruggestort in het estuarium. Daarnaast wordt op verschillende locaties in de Schelde zand uit het estuarium gehaald. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de verschillende ingrepen in het estuarium.

Naast zand worden eveneens grote hoeveelheden slib gebaggerd in het Schelde-estuarium. Dit gebeurt voornamelijk in de Beneden Zeeschelde en de havens langs de Westerschelde. Dit slib wordt eveneens teruggestort in het estuarium, soms op dezelfde locaties als het zand. Echter in deze studie wordt het effect van het baggeren en storten van slib niet meegenomen: er wordt verondersteld dat de topo-bathymetrie enkel het resultaat is van wijzigingen in zandhoeveelheid.

4.2.1 Baggeren en storten

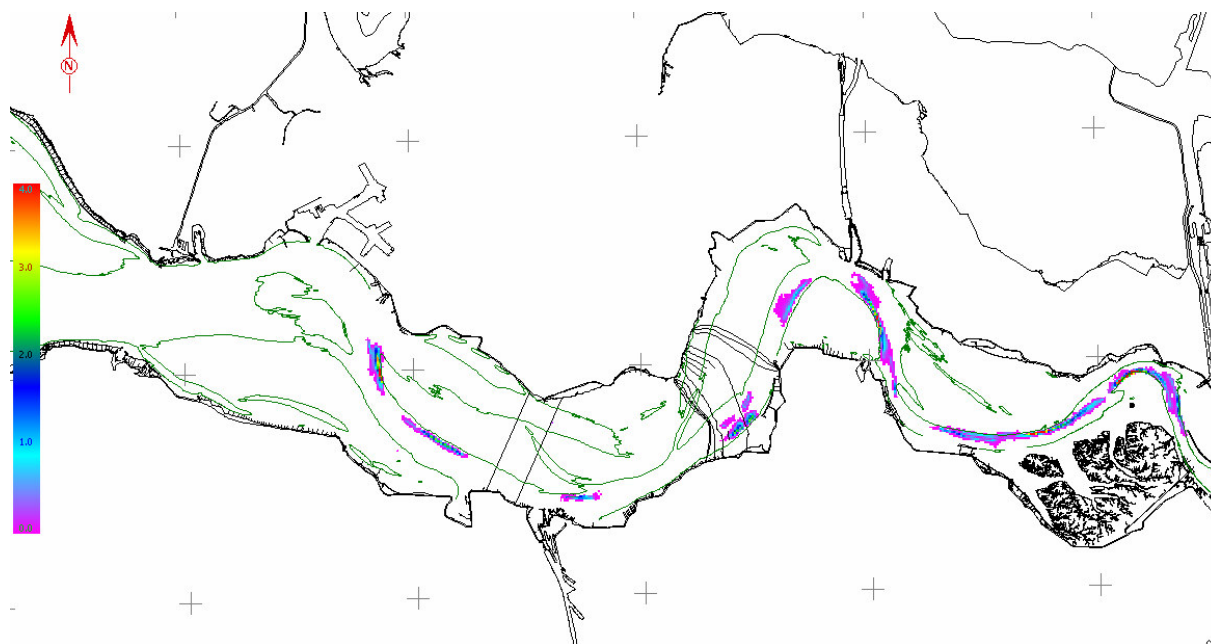
Het baggeren in het Schelde-estuarium gebeurt door sleepopperzuigers: door het slepen van een kop over de bodem wordt het sediment van een drempel verwijderd tot op de gewenste diepte. De sleepopperzuigers storten de gebaggerde specie meestal door middel van de traditionele kleptech-niek. Hierbij worden één of meerdere schuiven onder de beun van het baggerschip geopend en zakt de specie uit tot op de bodem.

In Nederland legt de WVO vergunning een aantal vakken op waarbinnen een jaarlijkse hoeveelheid sediment mag gestort worden. Deze WVO vergunning wordt regelmatig vernieuwd, waardoor de stortvakken worden aangepast aan de nieuwste inzichten. In België wordt eveneens een stortvergunning

ning afgeleverd: op basis van deze vergunning kan jaarlijks een bepaalde hoeveelheid baggerspecie opnieuw in de Beneden Zeeschelde worden teruggestort.

In voorgaande studies in verband met het uitrekenen van zandbalansen of analyses van morfologische processen werd gebruik gemaakt van maandelijkse of zelfs jaarlijkse bagger- en storthoeveelheden, die bovendien uniform werden verdeeld over de vergunde bagger- en stortzones. Dit bij gebrek aan meer gedetailleerde informatie.

Vanaf 1999 heeft de afdeling Maritieme Toegang van de Vlaamse overheid het zogenaamde Bagger Informatie Systeem (BIS) ingevoerd: in BIS worden de individuele bagger- en storttrips opgeslagen, dit met een resolutie van 5 x 5 m. Voor deze studie werden door afdeling Maritieme Toegang de wekelijkse bagger- en stortintensiteitsdata ter beschikking gesteld. Een voorbeeld van een dergelijke intensiteitskaart wordt gegeven in Figuur 3.



Figuur 3 : Baggerintensiteitskaart Westerschelde 2005

Verticale schaal: m gebaggerde specie

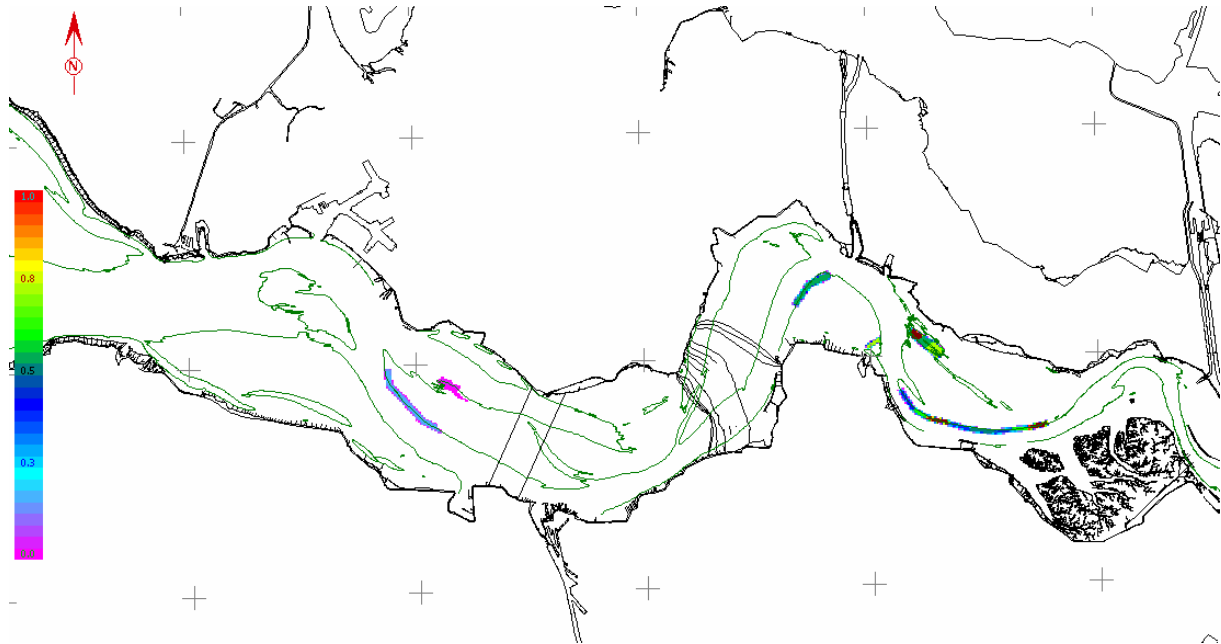
Aangezien de baggerspecie een andere dichtheid heeft in de beun van het baggerschip dan in situ, dient hiermee rekening gehouden te worden. In voorgaande studies werd hiervoor volgende vuistregel gehanteerd: het beunvolume is 10 % groter dan het in situ volume. In BIS wordt naast het beunvolume eveneens het gewicht van de lading (gemeten door inzinking van het baggerschip) bijgehouden. Deze 2 parameters laten toe om de beundensiteit te bepalen waardoor het gebruik van een benaderende vuistregel overbodig wordt. In bijlage C wordt het verschil tussen in situ volume en beunvolume voor 6 stortlocaties in de Westerschelde bepaald.

4.2.2 Zandwinning

Naast baggeren en storten, wordt eveneens zand uit het Schelde-estuarium onttrokken voor commerciële doeleinden. In de Zeeschelde is de zandwinning geconcentreerd in de Schaar van Ouden Doel: gemiddeld wordt op deze locatie circa 1.0 Mm³ zand per jaar gewonnen. In 2004 en 2005 lag deze hoeveelheid echter 4 keer lager. In de Westerschelde ligt het zwaartepunt van de zandwinning in het oostelijk deel. Jaarlijks wordt er circa 2.0 Mm³ zand uit de Westerschelde gewonnen.

De zandwindata voor de Westerschelde werden voor deze studie ter beschikking gesteld door Rijkswaterstaat Zeeland. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen zandwinning voor de overheid en zandwinning voor handel, al naargelang de overheid of een commercieel bedrijf het gewonnen zand zal gebruiken. De zandwinvolumes in de Westerschelde werden beschikbaar gesteld met een maandelijkse frequentie. Voor 2004 zijn de uit de Westerschelde onttrokken hoeveelheden gegeven in ton, vanaf 2004 in m³. Door Rijkswaterstaat Zeeland werd aangegeven dat de omrekening van de hoeveelheden in ton naar hoeveelheden in m³ dient te gebeuren door een factor 0.6 toe te passen.

De zandwinddata voor de Beneden Zeeschelde werden voor deze studie ter beschikking gesteld door afdeling Maritieme Toegang. De gewonnen hoeveelheden ter hoogte van de Schaar van Ouden Doel – de enige zandwinlocatie in de Beneden Zeeschelde – werden met een driemaandelijks frequentie aangeleverd. De volumes werden geleverd in m³.



Figuur 4 : Geschematiseerde zandwinintensiteitskaart Westerschelde 2005

Verticale schaal: m gewonnen specie

Zandwinning in het Schelde-estuarium gebeurt door het gebruik van steekzuigers, die door de gebruikte techniek lokaal diepe putten maken. Deze menselijke activiteit wordt – naar analogie met baggeren en storten – geregeld met een vergunning: in welbepaalde zones mag een vooraf bepaalde hoeveelheid zand gewonnen worden.

Aangezien er geen intensiteitskaarten voor de zandwinning beschikbaar zijn, worden de in situ hoeveelheden uniform verdeeld over deze vergunde zones. Het resultaat hiervan is dat het effect van zandwinning tijdens deze studie anders wordt voorgesteld dan het in werkelijkheid is: in plaats van het ontstaan van lokale diepe putten die opnieuw zullen aanzanden, wordt de bodem in het studiemodel over een beperkte dikte verdiept. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 4. De studie van de morfologische processen van zandwinputten valt buiten de opzet van dit onderzoek: hiervoor is er nood aan hoogfrequente (i.e. minimum één opmeting per week) topo-bathymetrische opmetingen.

5 VERWERKING BIS DATA

Voor deze studie werd gebruik gemaakt van de bagger- en stortintensiteiten in het Schelde-estuarium zoals opgeslagen in het Bagger Informatie Systeem (BIS) van afdeling Maritieme Toegang. Bij de verwerking van de BIS data werd op verschillende moeilijkheden gestoten. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de gebruikte verwerkingsprocedure en de resulterende bagger- en stortintensiteiten. Hierbij volgende opmerking: aangezien de focus van deze studie op morfologie en dus zand-transport ligt, worden de gebaggerde en gestorte slibhoeveelheden buiten beschouwing gelaten.

5.1 *Gehanteerde verwerkingsprocedure*

In het BIS van afdeling Maritieme Toegang worden de bagger- en stortdata opgeslagen met een wekelijkse frequentie. In het kader van onderhavige studie werd voorzien om deze wekelijkse data te integreren in de tijd, in overeenstemming met de periode van opname van de topo-bathymetrie. Een eenvoudig voorbeeld illustreert dit principe: peilvak 1 van de Westerschelde werd in 2000 opgemeten in week 10 en in 2001 in week 45. Bijgevolg dienen de baggerintensiteiten van de Drempel van Bath – gelegen in dit lodingsvak – eveneens in de tijd geïntegreerd te worden van week 10 in 2000 tot week 45 in 2001. Deze tijdsintegratie gebeurt voor alle bagger- en stortlocaties door de gewenste wekelijkse bestanden uit het BIS systeem samen te voegen.

Na deze tijdsintegratie werden de bagger- en stortintensiteiten per locatie geëxporteerd. Vervolgens werden de ingreepvolumes omgerekend van beunvolumes naar in situ volumes (aanne: in situ densiteit van 2.00 ton/m^3). Dit is mogelijk aangezien in BIS zowel het volume als het gewicht van de ingreephoeveelheid wordt bijgehouden. De zo berekende in situ volumes werden omgezet naar een diepte, zodat combinatie van de ingreepgegevens met de topo-bathymetrische opnames mogelijk wordt.

De ingreepgegevens in BIS worden opgeslagen in het geografisch referentiesysteem UTM31 ED50. Voor wat betreft de Beneden Zeeschelde is geen geografische transformatie nodig, aangezien de topo-bathymetrische data voor deze zone eveneens in ditzelfde referentiesysteem beschikbaar is. Voor wat betreft de Westerschelde werd geopteerd om de ingreepgegevens te transformeren naar het referentiesysteem RD Parijs. De topo-bathymetrische data voor dit deel van het estuarium is immers in dit geografisch referentiesysteem beschikbaar. Tot slot werden de BIS data – beschikbaar met een resolutie van $5 \times 5 \text{ m}$ - omgezet naar data met een resolutie van $20 \times 20 \text{ m}$. De topo-bathymetrische data van de Beneden Zeeschelde werd eveneens naar deze zelfde resolutie geconverteerd. Op die manier werd de compatibiliteit tussen de topo-bathymetrische gegevens – beschikbaar met deze resolutie – verwezenlijkt.

De resultaten van de verwerkte BIS data werden vergeleken met de bagger- en storthoeveelheden uit de baggerstatistiek van afdeling Maritieme Toegang. Uit deze vergelijking konden verschillende afwijkingen worden vastgesteld. In de Beneden Zeeschelde werden de ingreephoeveelheden stelselmatig overschat. In het oostelijke en midden deel van de Westerschelde was de overeenkomst behoorlijk goed, terwijl er opnieuw een overschatting van de bagger- en storthoeveelheden werd gevonden voor het westelijke deel van de Westerschelde.

5.2 *Aanpassingen aan de verwerkingsprocedure*

De nodige inspanningen werden gedaan om de afwijkingen in ingreephoeveelheden tussen de BIS verwerkte data en de baggerstatistiek weg te werken. In deze paragraaf worden de aanpassingen van de verwerkingsprocedure en hun resultaat besproken.

5.2.1 Bagger- en storthoeveelheden Beneden Zeeschelde

Detailanalyse van de uit BIS berekende ingreephoeveelheden voor de Beneden Zeeschelde leerde dat deze stelselmatig werden overschat. Aangezien het grootste gedeelte van de gebaggerde en gestorte hoeveelheden in de Beneden Zeeschelde slib betreft, werd het onderscheid tussen de zand- en slibfractie bestudeerd. In BIS wordt voor elke beunlading gespecificeerd of het zand of slib betreft. Echter het onderscheid tussen beide fracties is niet steeds eenduidig, met als resultaat dat de classificatie “zand” of “slib” die in BIS is terug te vinden met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd dient te worden.

Om hieraan een oplossing te bieden, werd beslist om de classificatie “zand” of “slib” voor de Beneden Zeeschelde opnieuw te maken. Hierbij werd gebruik gemaakt van de densiteit van het baggermateriaal, dat aan de hand van het volume en het gewicht – eveneens opgeslagen in BIS – kan worden berekend. In de baggerstatistiek wordt de zandfractie gedefinieerd als de fractie met densiteit groter dan 1.60 ton/m³. Slib is die fractie die minder dan 1.40 ton/m³ weegt. Daartussen betreft het een mengsel van zand en slib. Voor de verwerking van de BIS data werd als grens voor de densiteit eerst 1.60 ton/m³ verondersteld, in overeenstemming met de baggerstatistiek. Echter een uitgebreide analyse op deze parameter leerde dat de overeenstemming met de ingreepvolumes uit de baggerstatistiek beter waren bij een lagere densiteitsgrens.

5.2.2 Bagger- en storthoeveelheden westelijk deel Westerschelde

Daar waar de ingreephoeveelheden uit BIS voor het oostelijk en het midden deel van de Westerschelde goed in overeenstemming waren met de baggerstatistiek, werden in het westelijk deel nog aanzienlijke afwijkingen teruggevonden. Aangezien het opnieuw over een overschatting van de ingreephoeveelheden ten opzichte van de baggerstatistiek ging en aangezien er in het westelijke deel van de Westerschelde – in tegenstelling tot het oosten en het midden – eveneens een hoeveelheid slib op de drempels wordt gebaggerd, werd beslist om eenzelfde strategie als voor de Beneden Zeeschelde toe te passen. De classificatie tussen “zand” en “slib” werd op een gelijkaardige manier als bij de Beneden Zeeschelde toegepast, met opnieuw een betere overeenstemming als resultaat.

5.2.3 Storthoeveelheden 2004 Schaar van Waarde

In de Schaar van Waarde werd in 2004 een proefstorting van 425.000 m³ zand (in situ volume) bij de zeewaartse plaattip van Walsoorden uitgevoerd. In tegenstelling tot de traditionele kleptechniek werd voor deze proefstorting gebruik gemaakt van een sproeioponton zodat de baggerspecie nauwkeurig en gelijkmatig over het vooropgestelde gebied verspreid kon worden. Echter deze stortingen werden niet opgeslagen in het BIS systeem.

Om rekening te houden met deze stortproef werden de gestorte hoeveelheden handmatig in de stortintensiteitskaart ingebracht. Hierbij werden de stortvakken zoals gehanteerd door de uitvoerende baggeraar – stortvakken met een oppervlakte van 100 x 150 m – gebruikt. De gestorte hoeveelheden werden uniform verdeeld over deze stortvakken. Gezien het gebruik van een sproeikop leunt deze aanname dicht aan bij de realiteit.

5.3 Resultaten verwerkte BIS data

In onderstaande tabellen worden de verwerkte BIS data vergeleken met de ingreephoeveelheden uit de baggerstatistiek (in de tabel afgekort als BS). De ingreephoeveelheden werden in de tijd geïntegreerd overeenkomstig Tabel 1 voor de Westerschelde respectievelijk Tabel 2 voor de Beneden Zeeschelde. Afwijkingen tussen BIS en baggerstatistiek zijn deels te verklaren door het verschil in beschikbaarheid van de data. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van volgend voorbeeld.

De baggerhoeveelheden op de Drempel van Bath werden in BIS voor de periode 2000-2001 geïntegreerd van week 10 in 2000 tot week 45 in 2001, in overeenstemming met Tabel 1. Voor de baggerstatistiek – slechts beschikbaar met een maandelijkse frequentie – werden de baggerhoeveelheden op deze drempel geïntegreerd van maart 2000 tot en met november 2001. Echter week 10 stemt niet exact overeen met begin maart 2000, en week 45 niet met eind november 2001. Dit kan een beperkte afwijking in ingreepvolume veroorzaken.

BAGGEREN	2000-2001		2001-2002		2002-2003		2003-2004		2004-2005	
	BIS	BS	BIS	BS	BIS	BS	BIS	BS	BIS	BS
Drempel van Bath	1.353.260	1.511.719	290.910	243.674	675.650	597.665	169.770	146.125	559.246	794.771
Overloop & drempel Valkenisse	6.639.654	6.050.329	790.547	704.428	1.639.428	1.444.573	1.608.860	1.626.564	1.605.969	1.260.006
Drempel Hansweert	3.767.982	3.743.715	791.887	946.040	1.819.302	2.010.335	2.876.607	2.797.044	1.756.077	1.807.758
Overloop Hansweert	707.167	717.383	141.439	154.198	648.845	462.335	79.586	162.086	272.679	244.661
Gat Ossenisse	1.007.929	1.022.489	147.799	161.131	248.992	563.686	467.042	433.069	329.687	425.771
Put Terneuzen	0	0	298.466	187.144	473.073	507.311	0	0	89.392	84.755
Pas Terneuzen	254.301	225.798	398.565	371.113	207.832	388.378	205.327	246.326	147.624	210.988
Drempel Borssele	1.053.616	750.340	1.103.775	1.164.224	785.949	720.831	756.892	918.699	685.024	815.044
Drempel Vlissingen	453.756	260.759	139.939	345.585	0	244.538	394.062	411.228	0	0
Ankerplaats Everingen	0	0	0	0	0	0	0	0	219.371	249.926
Sloehaven	0	0	0	0	0	0	0	0	57.626	26.095
TOTAAL	15.237.665	14.282.533	4.103.326	4.277.536	6.499.071	6.939.652	6.558.146	6.741.142	5.722.694	5.919.775
STORTEN										
Schaar van de Noord	0	613	0	0	0	0	0	0	459.774	413.279
Schaar van Waarde	1.070.997	984.922	23.830	27.438	1.177.786	1.100.285	672.092	593.895	574.230	725.062
Platen Ossenisse	583.429	593.591	3.197	0	0	0	0	0	0	0
Biezelingse Ham	3.234.609	3.242.747	1.423.541	1.541.349	1.164.596	1.265.654	3.639	0	418.099	379.195
Gat Ossenisse	2.041.807	2.167.527	304.528	396.247	1.745.641	1.547.050	4.333.874	3.983.715	913.189	886.082
Ebschaar Everingen	769.357	976.705	92.889	65.513	0	173.758	0	42.562	0	0
Ellewoutsdijk	1.762.849	1.702.751	1.325.086	1.318.749	1.292.617	1.108.445	0	88.044	1.519.805	1.409.863
Vloedschaar Everingen	1.121.038	1.146.048	1.554.788	1.444.632	533.060	392.459	597.238	643.558	681.428	805.781
Schaar van de Spijkerplaat	1.110.579	985.449	1.916.135	2.065.229	953.352	1.047.987	1.449.784	1.505.645	1.078.895	1.106.181
TOTAAL	11.694.664	11.800.353	6.643.993	6.859.157	6.867.053	6.635.639	7.056.629	6.857.417	5.645.420	5.725.443

BAGGEREN	2000-2002		2001-2003		2002-2004		2003-2005	
	BIS	BS	BIS	BS	BIS	BS	BIS	BS
Drempel van Zandvliet	596.430	168.670			472.842	345.887		
Drempel van Frederik	456.307	474.197			975.544	1.044.897		
Drempel van Lillo	280.754	145.661			274.071	164.231		
Drempel van de Parel	660.325	647.711			339.061	369.021		
Kallosluis	0	239.453			0	0		
Krankeloon			558.550	488.372			432.269	491.659
TOTAAL	1.993.817	1.675.692	558.550	488.372	2.061.517	1.924.036	432.269	491.659
STORTEN								
	2000-2002	2000-2002	2001-2003	2001-2003	2002-2004	2002-2004	2003-2005	2003-2005
Schaar van Ouden Doel	1.475.827	1.250.382			1.291.354	1.227.124		
Punt van Melsele			62.067	3.056			5.853	0
Plaat van Boomke			137.905	79.996			69.420	87.905
Oosterweel			154.574	64.465			29.478	68.005
Vlakte van Hoboken			0	0			0	524
TOTAAL	1.475.827	1.250.382	354.546	147.517	1.291.354	1.227.124	104.751	156.433

Tabel 3 : Vergelijking BIS en baggerstatistiek (BS) voor de Westerschelde (boven)
en de Beneden Zeeschelde (onder)

6 EROSIE- EN SEDIMENTATIEPATRONEN SCHELDE

In dit hoofdstuk worden de erosie- en sedimentatiepatronen in de Schelde bestudeerd. Op basis van deze patronen wordt een analyse uitgevoerd. Hierbij zullen de morfologische ontwikkelingen niet in detail worden bestudeerd, maar zal de focus liggen op het effect van menselijke ingrepen op de geobserveerde patronen. Tot slot zal de aanzandingssnelheid op de drempels en de dynamiek van de stortlocaties worden bekeken.

6.1 Globale erosie-sedimentatiepatronen

In dit hoofdstuk worden de globale erosie-sedimentatiepatronen van de Schelde besproken. Deze worden getoond in Figuren A.3 t.e.m. A.61 in bijlage A. Op deze figuren worden naast de totale erosie-sedimentatie patronen eveneens het effect van menselijke ingrepen en de zogenoemde netto of natuurlijke volumeverandering getoond. Teneinde geen verwarring te creëren betreffende de gebruikte terminologie, wordt hieronder een definitie van de verschillende kaarten gegeven.

- *Totale erosie-sedimentatie*: het verschil tussen 2 opeenvolgende topo-bathymetrische peilingen.
- *Menselijke ingrepen*: de gecumuleerde ingreephoeveelheden (baggeren, storten en zandwinnen) in de tijd geïntegreerd over dezelfde periode als de totale volumeverandering.
- *Natuurlijke of netto erosie-sedimentatie*: de totale volumeverandering min de menselijke ingrepen. Dit is de evolutie van het systeem in afwezigheid van menselijke ingrepen. Echter hierbij dient opgemerkt te worden dat de beschouwde natuurlijke evolutie niet enkel het resultaat is van het systeem zonder menselijke ingrepen, maar eveneens bestaat uit de reactie van het estuarien systeem op deze antropogene ingrepen.

Positieve waarden op deze figuren wijzen op sedimentatie, negatieve waarden op erosie. Belangrijk is eveneens op te merken dat de duur van de getoonde erosie-sedimentatiepatronen (i.e. in overeenstemming met opnamedatum uit Tabel 1 en Tabel 2) niet altijd dezelfde is, wat uiteraard een effect kan hebben op de hoeveelheid erosie of sedimentatie.

6.1.1 Westerschelde

De erosie-sedimentatiepatronen van de Westerschelde zijn terug te vinden in Figuren A.3 t.e.m. A.47. In het algemeen kan worden opgemerkt dat er een hoge dynamiek is in de diepwatergebieden (in het bijzonder in de zones tussen vloed- en ebscharen en rond diepe putten), terwijl de intertidale gebieden eerder een lage dynamiek vertonen. Hierna worden enkele bijzondere gebieden uit de Westerschelde vermeld:

- Put van Vlissingen, juist afwaarts de haveningang van Vlissingen: dit is een gebied met een bijzonder grote dynamiek, ondanks de afwezigheid van menselijke ingrepen. Opvallend is dat de zones van sedimentatie en erosie van het ene jaar op het andere plots kunnen omwisselen.
- Schaar van de Spijkerplaat: hoogdynamisch gebied, mede door de stortingen aan de landwaartse zijde van dit intertidaal gebied.
- Kortsluitgeul Zuid Everingen: sterke erosie langs de zeewaartse oever van deze geul gedurende de hele periode 2000-2005. Op de topo-bathymetrische kaarten is het migreren van de geul in de tijd eveneens duidelijk zichtbaar. Echter langs de landwaartse oever is slechts beperkte sedimentatie terug te vinden.
- Verbinding ebgeul Middelgat – vloedgeul Everingen: hoogdynamisch gebied.
- Put van Hansweert: hoogdynamisch gebied waar zones van sedimentatie en erosie van het ene jaar op het andere kunnen omwisselen.
- Monding vloedgeul Schaar van Valkenisse: migratie van het uiteinde van de Schaar van Valkenisse naar het zuidwesten.

- Gebied rond de Zimmerman geul: hoogdynamisch gebied.

6.1.2 Beneden Zeeschelde

De erosie-sedimentatiepatronen van de Beneden Zeeschelde zijn terug te vinden in Figuren A.47 t.e.m. A.61. In vergelijking met de Westerschelde zijn de opgetreden volumeveranderingen veel minder uitgesproken. Deze worden bovendien kleiner naarmate er meer opwaarts wordt gekeken. Als bijzondere gebieden kunnen hier volgende zones worden vermeld.

- De Palingplaat: tussen 2001 en 2003 is er een sterke erosie opgetreden aan de rand van deze plaat.
- De omgeving van Oosterweel: tussen 2003 en 2005 is er in deze zone een belangrijke erosie opgetreden, gesitueerd ter hoogte van de vaargeul.

6.2 Baggerinspanning op de drempels

De dynamiek van de drempels wordt quasi uitsluitend bepaald door de hoeveelheid zand die op de drempel wordt gebaggerd. De drempels in de vaargeul worden immers op constante diepte gehouden, waardoor de bathymetrische diepte van de drempel bijna niet zal wijzigen in de tijd. In deze paragraaf zal een uitspraak worden gedaan over de "belangrijkheid" van iedere drempel aan de hand van de vereiste hoeveelheid baggerwerk om de drempel op diepte te houden. Hierbij wordt herhaald dat in deze studie enkel zand wordt beschouwd, en dus niet de vereiste baggerinspanning ten gevolge van slib.

6.2.1 Jaarlijkse baggervolumes

In Tabel 4 wordt een overzicht gegeven van het relatieve baggervolume voor iedere drempel ten opzichte van het totale jaarlijkse baggervolume voor alle drempels in het Schelde-estuarium. Dit wordt gedaan voor de studieperiode 2000-2005. In deze tabel worden drempels waar eenmalig werd gebaggerd (bijvoorbeeld Ankerplaat Everingen in 2005) of waar slechts een zeer kleine hoeveelheid zand werd gebaggerd in de beschouwde periode (bijvoorbeeld Plaat van Doel) niet meegenomen. Echter het baggervolume op deze drempels werd wel meegenomen bij de berekeningen.

Uit dit overzicht volgt dat de Drempel van Hansweert en de Overloop van Valkenisse de belangrijkste drempels zijn wat betreft onderhoudsbaggerwerk: de 2 drempels samen zijn goed voor ongeveer 50 % van het baggervolume van het hele Schelde-estuarium. De Drempel van Borssele, het Gat van Ossenis en de Drempel van Bath zijn eveneens belangrijke drempels wat betreft het volume onderhoudsbaggerwerk: elk van deze 3 drempels vertegenwoordigt meer dan 5 % van het jaarlijkse onderhoudsbaggerwerk van het hele estuarium over de beschouwde periode, samen goed voor iets minder dan 25 %. De baggerinspanning op de 9 overige drempels blijft beperkt: de jaarlijkse baggerhoeveelheid varieert tussen 2 % en 4 % van het onderhoudsbaggerwerk van het ganse estuarium.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	GEM
Drempel van Vlissingen	2.8	3.3	3.2	3.0	2.3	0.0	2.4
Drempel van Borssele	8.7	8.6	9.7	11.6	12.1	6.4	9.5
Pas van Terneuzen	2.2	3.0	5.6	2.9	1.8	3.7	3.2
Put van Terneuzen	1.4	0.0	9.0	0.0	1.0	2.6	2.3
Gat van Ossenis	2.4	10.7	3.8	8.8	3.4	8.5	6.3
Overloop van Hansweert	6.6	1.8	8.0	1.8	1.2	3.0	3.7
Drempel van Hansweert	23.4	18.8	27.7	27.4	32.4	15.0	24.1
Overloop van Valkenisse	30.3	34.7	14.6	25.6	19.6	21.3	24.4
Drempel van Bath	7.4	7.3	8.7	4.6	9.6	11.0	8.1
Drempel van Zandvliet	7.0	0.8	0.4	3.7	1.0	8.0	3.5
Drempel van Frederik	3.2	4.0	0.4	2.5	10.4	2.6	3.8
Drempel van Lillo	2.1	1.3	0.1	1.8	0.3	6.5	2.0
Drempel van De Parel	2.2	1.9	4.3	3.3	2.1	2.6	2.8
Drempel van Krankeloon	0.1	1.6	4.1	2.5	2.5	3.4	2.4

Tabel 4 : Relatieve baggervolumes (in %) per jaar en gemiddelde 2000-2005 ten opzichte van totaal baggervolume Schelde-estuarium

6.2.2 Aanzandingssnelheid van de drempels

Het baggervolume op een drempel is een belangrijke factor, echter deze parameter vertelt niet alles over de "belangrijkheid" van de drempel. Immers het is logisch dat een grotere drempel qua oppervlakte een grotere hoeveelheid onderhoudsbaggerwerk zal vergen. Doch dit betekent niet dat de aanzandingssnelheid van deze drempel even groot is dan die van een andere, kleinere drempel. Daarom werd naast het baggervolume per drempel eveneens de aanzandingssnelheid van elke drempel in het Schelde-estuarium bepaald. De werkwijze die hiervoor werd gehanteerd wordt hieronder beschreven.

Op basis van de baggerintensiteitskaart uit BIS werd een omhullende van elke drempel gedefinieerd. Met deze omhullende werd vervolgens een volumeberekening uitgevoerd: eerst werd het totale baggervolume over de beschouwde periode 2000-2005 bepaald, vervolgens de werkelijk opgemeten volumeverandering binnen dezelfde omhullende. Combinatie van de ingreephoeveelheden met de werkelijk opgetreden hoeveelheden geeft de zogenoemde aanzandingssnelheid: dit is de snelheid waarmee een drempel aanzandt, onafhankelijk van de oppervlakte van de drempel. De resultaten van deze berekening worden getoond in Tabel 5. Naast de aanzandingssnelheid per drempel wordt hier eveneens het totale baggervolume voor de periode 2000-2005 gegeven.

Uit deze berekeningen volgt dat de Drempel van Borssele, de Drempel van Hansweert en de Overloop van Valkenisse een grote aanzandingssnelheid hebben. Dus het grote volume onderhoudsbaggerwerk op deze drempels is niet enkel te wijten aan de grote oppervlakte van deze drempels, maar eveneens aan de grote aanzandingssnelheid. De Drempel van Bath en het Gat van Ossenisse echter hebben maar een matige tot kleine aanzandingssnelheid vergeleken met de andere drempels: de grote volumes onderhoudsbaggerwerk zijn op deze locatie voornamelijk te wijten aan de uitgestrektheid van de drempels ten opzichte van andere baggerlocaties in het estuarium. Opmerkelijk is dat de Drempel van de Parel maar vooral de Drempel van Krankeloon bijzonder hoge aanzandingssnelheden hebben: de baggervolumes op deze locaties blijven beperkt doordat de oppervlakte van de drempels relatief klein is.

	Baggervolume 2000-2005 (<i>in situ Mm³</i>)	Aanzandingssnelheid (<i>m³/m²/jaar</i>)
Drempel van Vlissingen	1.33	0.22
Drempel van Borssele	5.05	0.74
Pas van Terneuzen	1.67	0.27
Put van Terneuzen	1.14	0.44
Gat van Ossenisse	3.36	0.17
Overloop van Hansweert	2.02	0.18
Drempel van Hansweert	12.76	0.67
Overloop van Valkenisse	13.58	0.95
Drempel van Bath	4.30	0.36
Drempel van Zandvliet	1.89	0.36
Drempel van Frederik	2.08	0.02
Drempel van Lillo	1.05	0.35
Drempel van De Parel	1.43	0.69
Drempel van Krankeloon	1.16	1.15

Tabel 5 : Totale baggervolumes 2000-2005 en jaarlijkse aanzandingsnelheid van de drempels in het Schelde-estuarium

6.3 Dynamiek van de stortlocaties

Op verschillende stortlocaties in het Schelde-estuarium wordt sediment gestort met als doel dat dit sediment na verloop van tijd zal wegeroderen. De keuze van de locaties is zo dat de tijd die de gestorte specie nodig heeft om de drempels (i.e. de locaties van natuurlijke aanzanding) te bereiken maximaal is. Het estuarium ruimt dus van nature de stortlocaties op, zodat er elk jaar opnieuw capaciteit is in deze stortzones om onderhoudsbaggerwerk te storten. De dynamiek van de stortlocaties –

m.a.w. de snelheid waarmee het gestorte sediment van de stortlocatie zal eroderen – is bijzonder belangrijk. In deze paragraaf zal getracht worden uitspraak te doen over de dynamiek van de verschillende stortlocaties in het Schelde-estuarium. Opnieuw wordt hierbij de opmerking gemaakt dat deze studie zich beperkt tot zand, en dus niet het storten van slib mee in rekening neemt.

Vooraleer over te gaan tot een bespreking van de verschillende stortlocaties wordt een overzicht gegeven van het relatieve belang van elke stortlocatie in het Schelde-estuarium in Tabel 6. Hierbij worden locaties die eenmalig werden gebruikt in de beschouwde periode (bijvoorbeeld Put Sapanca in 2004) of locaties waar slechts een beperkte hoeveelheid zand werd teruggestort (bijvoorbeeld Punt van Melsele) niet beschouwd. De gestorte hoeveelheden op deze locaties worden echter niet verwaarloosd bij de berekeningen. In tegenstelling tot het baggeren zijn de storthoeveelheden in de Westerschelde eerder gelijkmatig verdeeld over een aantal stortlocaties. In de Beneden Zeeschelde is dit echter niet het geval: hier wordt bijna al het baggerzand op de stortlocatie Schaar van Ouden Doel gestort.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	GEM
Schaar van Spijkerplaat	16.5	21.3	14.6	13.4	19.2	11.3	16.0
Vloedschaar Everingen	10.5	14.3	7.8	8.1	13.5	10.7	10.8
Ellewoutsdijk	12.1	8.7	21.3	3.3	19.4	32.9	16.3
Ebschaar Everingen	4.8	4.9	0.0	0.6	0.0	0.0	1.7
Gat van Ossenisse	10.2	14.4	16.2	48.6	22.6	0.4	18.7
Biezelingse Ham	22.3	22.5	23.4	0.9	2.3	8.8	13.4
Plaat van Ossenisse	2.9	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
Schaar van Waarde	5.7	5.7	6.9	12.1	13.2	10.5	9.0
Schaar van Ouden Doel	14.9	5.4	9.4	12.0	3.9	22.4	11.3
Plaat van Boomke	0.0	0.2	0.3	0.5	0.0	1.2	0.4
Oosterweel	0.0	0.2	0.2	0.4	0.0	0.9	0.3

Tabel 6 : Relatieve stortvolumes (in %) per jaar en gemiddelde 2000-2005 ten opzichte van totaal stortvolume Schelde-estuarium

6.3.1 Schaar van de Spijkerplaat

Deze locatie is de meest zeewaarts gelegen stortlocatie van het estuarium. De evoluties in dit stortvak worden getoond in Figuren A.62 t.e.m. A.67. Ondanks het feit dat het een groot stortvak betreft, blijft het storten beperkt tot een relatief kleine zone. Opvallend is dat er in de periode 2000-2005 steeds wordt gestort op dezelfde locaties binnen het stortvak. De Schaar van de Spijkerplaat is een belangrijke stortlocatie: vanaf 2000 tot en met 2005 werd hier 8.39 Mm³ zand gestort. Dit vertegenwoordigt circa 16 % van het onderhoudsbaggerwerk van het hele Schelde-estuarium.

De stortingen aan het zeewaartse uiteinde van de vergunde stortzone zijn over het algemeen beperkt in grootte. Van deze stortingen is op de verschilkaarten van de peilingen bijna niets terug te vinden, wat erop wijst dat het gestorte sediment snel wordt geërodeerd. In het meer centrale deel van de stortzone worden grotere volumes gestort. Deze worden onder invloed van de grote dynamiek in deze zone eveneens getransporteerd. Uit de verschilkaarten volgt dat de vloedstroming het gestorte zand richting Pas van Terneuzen en Vloedgeul Everingen transporteert, terwijl de eb de stortspecie in het Spijkerplaat complex stuwt.

Het gebied van de Schaar van de Spijkerplaat is een zeer dynamisch gebied. De cumulatieve volumeverandering van dit gebied voor de periode 2000-2005 worden getoond op Figuur A.67. Hieruit blijkt dat er een zone van sterke sedimentatie in het stortvak is terug te vinden. Echter aangezien er juist naast deze sedimentatiezone eveneens zones met zeer sterke erosie zijn, wijst dit niet noodzakelijk op een ophoging van het stortvak dan wel op de grote dynamiek van deze locatie. Dit wordt bevestigd door de topo-bathymetrische kaarten van dit gebied. Ondanks het feit dat de stortingen hier een invloed op de morfologische ontwikkelingen kunnen hebben, lijkt het waarschijnlijk dat deze geenszins een ophoging van dit gebied teweegbrengen.

6.3.2 Vloedschaar Everingen

De totale volumeverandering, het effect van de ingrepen en de zogenoemde netto of natuurlijke volumeverandering van het stortvak vloedschaar Everingen wordt getoond op Figuren A.68 t.e.m. A.73. Dit stortvak, waar over de periode 2000-2005 5.64 Mm³ baggerzand uit de Westerschelde werd gestort, wordt ingedeeld in 2 delen: een oostelijk en een westelijk deel. Het zwaartepunt van de stortingen op deze locatie is het meest zeewaartse gedeelte van het westelijke deelvak.

Van de beperkte stortingen in het oostelijke deelvak van de stortzone vloedschaar Everingen is op de verschilpeilingen slechts een beperkte sedimentatie terug te vinden. Het merendeel van de gestorte specie erodeert dus vrij snel. Op de erosie-sedimentatiekaart van 2000-2005 (zie Figuur A.73) is het gecumuleerde effect zichtbaar: een beperkte sedimentatie in het stortvak, met het zwaartepunt ter hoogte van de uitgevoerde stortingen. In het westelijke deelvak is – ondanks het feit dat er jaarlijks grotere hoeveelheden werden gestort – niet echt sprake van een ophoging. Juist ten westen van dit deelvak is zelfs een aanzienlijke erosie terug te vinden.

De vloedschaar Everingen is met ongeveer 11 % van het totale stortvolume in het Schelde-estuarium een matig tot belangrijk stortvak. Het gestorte sediment lijkt zich onder invloed van de vloedstromen landinwaarts te bewegen (lichte erosie in westelijk deelvak, beperkte sedimentatie in oostelijk deelvak). Voor de bestudeerde periode lijkt dit stortvak geen ophoging onder invloed van de stortingen te ondergaan.

6.3.3 Ellewoutsdijk

Het stortvak Ellewoutsdijk, grenzend aan het stortvak vloedschaar Everingen, is met 8.06 Mm³ of 16 % van de gestorte hoeveelheden van het Schelde-estuarium een belangrijke stortlocatie. De ingrepen in dit gebied evenals de jaarlijkse erosie-sedimentatiepatronen zijn terug te vinden op Figuren A.68 t.e.m. A.73. In het grote vergunde gebied wordt slechts op welbepaalde plaatsen gestort: de exacte stortlocaties binnen het vergunde gebied variëren van jaar tot jaar.

Op de jaarlijkse verschilplots zijn zowel erosie als sedimentatie terug te vinden, verspreid over het ganse stortvak. Dit vertaalt zich cumulatief voor de bestudeerde periode in zones met zeer sterke erosie en sedimentatie: zie Figuur A.73. De mobiliteit van de stortingen in dit vak is niet overal dezelfde: zo zorgt de dynamiek van de kortsluitgeul Zuid Everingen voor een snelle opruiming van het sediment gestort in het centrale deel van dit vak, terwijl de oostelijke en de westelijke stortingen minder snel eroderen. In het oostelijk deel van dit stortvak lijken de stortingen zelfs een belangrijke sedimentatie te veroorzaken: op de topo-bathymetrische kaarten is inderdaad te zien dat de uitgesproken put in de vloedgeul in 2000 aanzienlijk is opgehoogd in 2005.

6.3.4 Ebschaar Everingen

In tegenstelling tot het stortgebied vloedschaar Everingen is het stortvak ebschaar Everingen slechts een beperkt stortvak. Tussen 2000 en 2001 werd in dit vak 1.08 Mm³ zand gestort, na 2001 werd dit stortvak niet meer gebruikt. De volumeveranderingen en stortintensiteiten in dit vak worden getoond in Figuren A.74 t.e.m. A.79.

In 2000-2001 vindt in dit stortvak, vermoedelijk onder invloed van de uitgevoerde stortingen, een sedimentatie plaats. In 2001-2002 zijn de storthoeveelheden veel kleiner en is de algemene trend in het vak één van beperkte erosie. In 2002-2003 vinden er bijna geen morfologische wijzigingen plaats in het vak, terwijl er vanaf 2003 opnieuw afwisselend zones van erosie en sedimentatie zijn terug te vinden. De morfodynamiek in dit gebied wordt grotendeels bepaald door het dynamisch gedrag van de kortsluitgeul tussen de vloedgeul Everingen en de ebgeul Middelgat. De sterke sedimentatie in de ebgeul Middelgat is vermoedelijk te wijten aan stortingen in de Biezelingse Ham, en hebben niets te maken met stortingen in het vak ebschaar Everingen.

6.3.5 Gat van Ossenis

Het Gat van Ossenis is met 9.10 Mm³ stortspecie het belangrijkste stortvak van het hele estuarium. In de periode 2003-2004 werd in dit vak zelfs meer dan 50 % van de baggerspecie teruggestort. Uniek voor dit stortvak is dat het zich vlak naast een baggerlocatie bevindt: terwijl er aan de rand van de vaargeul zand wordt gebaggerd, worden er juist naast de vaargeul grote hoeveelheden specie

teruggestort. De stortzone aan de rand van de vaargeul is immers dieper dan de vaargeul zelf. Figuren A.74 t.e.m. A.79 tonen de volumeveranderingen en de ingreephoeveelheden in dit stortvak.

Het stortvak Gat van Ossenis is opgedeeld in 2 deelgebieden: een noordelijk en een zuidelijk deel. De gestorte hoeveelheden in het Gat van Ossenis worden ongeveer gelijk verdeeld over beide deelvakken. De stortingen worden niet uniform over het stortvak uitgevoerd. Sommige jaren worden de stortingen geconcentreerd aan de uiterste punten van beide stortvakken, andere jaren wordt de stortspecie eerder geconcentreerd in het midden van het stortvak.

Wat de dynamiek van dit stortvak betreft lijkt de gestorte specie aan de uiteinden van het stortvak vrij snel te eroderen: op de jaarlijkse erosie-sedimentatiepatronen zijn deze stortingen nauwelijks zichtbaar. De grotere hoeveelheden gestort in het midden van het stortvak zijn wel zichtbaar op de verschilkaarten. Cumulatief over de studieperiode is er aan de uiteinden van de stortzone een significante erosie waar te nemen, terwijl er zand in het centrale deel van het stortvak is gesedimenteerd. Hierbij wordt gewezen op de rol van de harde begrenzing (oeververdediging) nabij de uiteinden van het stortvak: deze veroorzaken turbulentie en vergroten op die manier de erosie van het gestorte zand in deze zones. In de baggerzone Gat van Ossenis is eveneens een beperkte sedimentatie over de studieperiode terug te vinden, echter het is niet duidelijk in welke mate de stortingen in het stortvak Gat van Ossenis hiertoe bijdragen.

6.3.6 Biezelingse Ham

De stortlocatie Biezelingse Ham is gelegen in de ebgeul Middelgat, langs de buitenbocht van de rivier. Op deze locatie – waar gedurende de periode 2000-2005 7.55 Mm³ zand werd gestort – wordt in de periode april-mei niet gestort omwille van ecologische redenen. Figuren A.80 t.e.m. A.85 tonen de topo-bathymetrische volumeveranderingen en de ingreephoeveelheden in dit stortvak.

De volumeveranderingen in dit gebied geven een trend van sedimentatie aan. Enkel in de periode 2003-2004 – een periode in dewelke er niet werd gestort in de Biezelingse Ham – is hoofdzakelijk erosie te zien. De gecumuleerde erosie-sedimentatiepatronen van dit gebied worden in Figuur A.85 gegeven. Hieruit blijkt dat er in het stortgebied voornamelijk zand sedimenteert. Uit de topo-bathymetrische kaarten blijkt dat dit een opvullen van bestaande putten betreft. Juist naast het stortgebied zijn er eveneens belangrijke zones van sterke erosie terug te vinden. Afwaarts de stortlocatie – in de geul Middelgat – is er dan weer een zone van sterke sedimentatie te zien: een groot deel van de gestorte specie in de Biezelingse Ham wordt onder invloed van de vloedstroming naar hier getransporteerd.

6.3.7 Platen van Ossenis

Het stortvak Platen van Ossenis werd voor 2002 gebruikt als stortvak. Nadien werd hier geen zand meer gestort. In de periode 2000-2001 werd op deze locatie 0.95 Mm³ teruggestort. Deze hoeveelheid werd ongeveer gelijkmatig verdeeld over het stortvak, dat uit een noordelijk en een zuidelijk deel bestaat. De stortintensiteitskaart en de volumeverandering voor deze periode wordt getoond op Figuren A.86 t.e.m. A.91.

Uit de verschilkaart blijkt dat er weinig of niets van het gestorte zand in het stortvak is terug te vinden op het einde van de stortperiode 2000-2001. Gecumuleerd over de studieperiode tonen de volumeveranderingen slechts een beperkte dynamiek van het stortvak. De Platen van Ossenis oost lijken aan de rand van het gedefinieerde stortvak een beperkte erosie te ondergaan. Deze evolutie is natuurlijk: eventuele stortingen in het stortvak na 2001 hadden dit mogelijk kunnen voorkomen.

6.3.8 Schaar van Waarde

De Schaar van Waarde is het enige stortvak in het oostelijke deel van de Westerschelde. De stortlocatie Schaar van de Noord – eveneens gelegen in het oostelijke deel van de Westerschelde ter hoogte van de bocht van Bath – werd enkel in 2005 gebruikt. Dit stortvak wordt hier dan ook buiten beschouwing gelaten. In de Schaar van Waarde – goed voor een storthoeveelheid van ongeveer 9 % van het volledige Schelde-estuarium – wordt eveneens zand gewonnen: zandwinvakken Va, Vb en Vc zijn middenin het vergunde stortgebied gelegen. De ingreepintensiteiten en de netto en totale volumeverandering worden getoond in Figuren A.92 t.e.m. A.97.

Het effect van de stortingen is niet duidelijk terug te vinden in de kaart met de totale volumeverandering. Uitzondering hierop is de proefstorting van Walsoorden waarbij eind 2004 circa 425.000 m³ zand met behulp van een sproeikop werd aangebracht: deze storting is duidelijk terug te vinden in de volumeveranderingskaart. Reden hiervoor is de gebruikte storttechniek en de concentratie van de storthoeveelheid in de ruimte. Over het algemeen zijn er in het stortvak Schaar van Waarde zowel zones van erosie als sedimentatie terug te vinden, al blijven deze beperkt van grootte. Waar er in het afwaartse deel van het stortvak eerder een trend van sedimentatie is terug te vinden, wordt in het opwaartse gedeelte eerder erosie waargenomen. Dit wordt bevestigd in de gecumuleerde erosie-sedimentatiekaart, die in Figuur A.97 wordt weergegeven.

6.3.9 Schaar van Ouden Doel

De Schaar van Ouden Doel is een vroegere vloedgeul van de Beneden Zeeschelde die zich momenteel achter een strekdam bevindt. Enkel bij hoogwater overstroomt de strekdam en zijn er belangrijke stromingen in dit gebied waar te nemen. Het stortgebied Schaar van Ouden Doel is het belangrijkste stortvak voor baggerzand in de Beneden Zeeschelde. Meer dan 90 % van het opgebaggerde zand uit de Beneden Zeeschelde wordt in dit vak gestort. In de periode 2000-2005 werd hier in totaal 5.88 Mm³ zand gestort. Bovendien is dit tevens de enige zandwinlocatie in de Beneden Zeeschelde. De gestorte en gewonnen zandwin-hoeveelheden in dit gebied zijn in de beschouwde periode van dezelfde orde van grootte. Netto gezien wordt er onder invloed van de menselijke ingrepen dus geen zand onttrokken of bijgevoegd in dit gebied.

Een intensiteitskaart van de ingrepen en de verschilkaarten zijn terug te vinden op Figuren A.98 t.e.m. A.100. Gecumuleerd van 2000 tot 2004 zijn de volumeveranderingen weergegeven in Figuur A.100. Hieruit volgt dat er in het stortvak Schaar van Ouden Doel hoofdzakelijk sterke erosie optreedt. Aangezien de stortvolumes en zandwinvolumes ongeveer aan elkaar gelijk zijn, moet deze erosie te wijten zijn aan een natuurlijke export van materiaal uit dit gebied.

6.3.10 Overige stortvakken

In de Beneden Zeeschelde zijn er naast de Schaar van Ouden Doel nog 4 andere stortzones. Echter aangezien er in deze 4 stortvakken samen minder dan 1 % van het baggerzand uit het hele estuarium wordt gestort, wordt er geen aparte bespreking gewijd aan deze vakken. De stortintensiteiten en de volumeveranderingen voor de stortvakken Punt van Melsele, Plaat van Boomke en Oosterweel zijn terug te vinden in Figuren A.101 t.e.m. A.106. Voor de Vlake van Hoboken, waar slechts een verwaarloosbare hoeveelheid zand werd gestort in de studieperiode, werden zelfs geen figuren gemaakt.

7 ZANDBALANS SCHELDE-ESTUARIUM

7.1 Inleiding

In een dynamisch systeem als het Schelde-estuarium is het bodemsediment bijna continu in beweging. De vloedstromingen zullen het sediment landinwaarts stuwen, terwijl de ebstromingen voor een zeewaarts gericht transport zorgen. Daarenboven wordt door de mens sediment dat op de natuurlijke drempels terecht komt weggebaggerd en ter hoogte van een stortlocatie opnieuw in het systeem gebracht (i.e. rondpompen van zand door de mens). Daarnaast wordt er op verschillende locaties in het estuarium zand gewonnen: dit zand wordt permanent uit het estuarium genomen. Aan de mondingzijde van het estuarium kan er zand met de Noordzee worden uitgewisseld, terwijl er sediment – hoofdzakelijk slib – via de bovenlopen in het opwaartse deel van het estuarium terecht komt (pers. comm. ir Eric Taverniers).

Het effect van al deze processen samen kan voorgesteld worden door een zandbalans: dit is de uitwisseling van zand tussen verschillende delen van het estuarium. Er kan een onderscheid worden gemaakt tussen een balans op microschaal, mesoschaal of macroschaal. In dit rapport zal worden gefocust op de macroschaal en zal aan de hand van de meest recent beschikbare data de uitwisseling van sediment tussen het estuarium en de monding bestudeerd worden.

7.2 Uitgangspunten en methodieken

Teneinde een zandbalans op te stellen heeft men nood aan verschillende gegevens: frequente topobathymetrische opmetingen van het volledige studiegebied en gedetailleerde informatie over de menselijke ingreepgegevens. Deze gegevens werden reeds beschreven in hoofdstuk 4 van dit rapport. In deze paragraaf wordt de gevolgde werkwijze om tot de zandbalans te komen uitvoerig beschreven.

7.2.1 Indeling in deelgebieden

Voor de zandbalans wordt het studiegebied opgedeeld in 2 delen: enerzijds de Beneden Zeeschelde gaande van de monding van de Rupel tot aan de Belgisch-Nederlandse grens. Anderzijds de Westerschelde, afgebakend van de Belgisch-Nederlandse grens tot aan de raai Vlissingen-Breskens. Het mondingsgebied (i.e. de zone afwaarts Vlissingen-Breskens tot aan de Noordzee) werd in deze studie niet meegenomen.

Deze 2 deelgebieden worden eveneens opgedeeld in kleinere vakken. Hiervoor wordt in tegenstelling tot de meest recente studierapporten [5,6] niet gebruik gemaakt van morfologische eenheden maar wel van de lodingsvakken (cfr. [4]). Hierbij werd de grens tussen lodingsvak 1 van de Westerschelde en lodingsvak Saeftinge-Doel van de Beneden Zeeschelde aangepast om overlapping te vermijden: deze werd gelijk gesteld aan de Belgisch-Nederlandse grens. In de paragraaf die de synchronisatie van de lodingsdata behandelt zal duidelijk worden waarom voor deze vakindeling werd gekozen.

7.2.2 Synchronisatie van lodingsdata

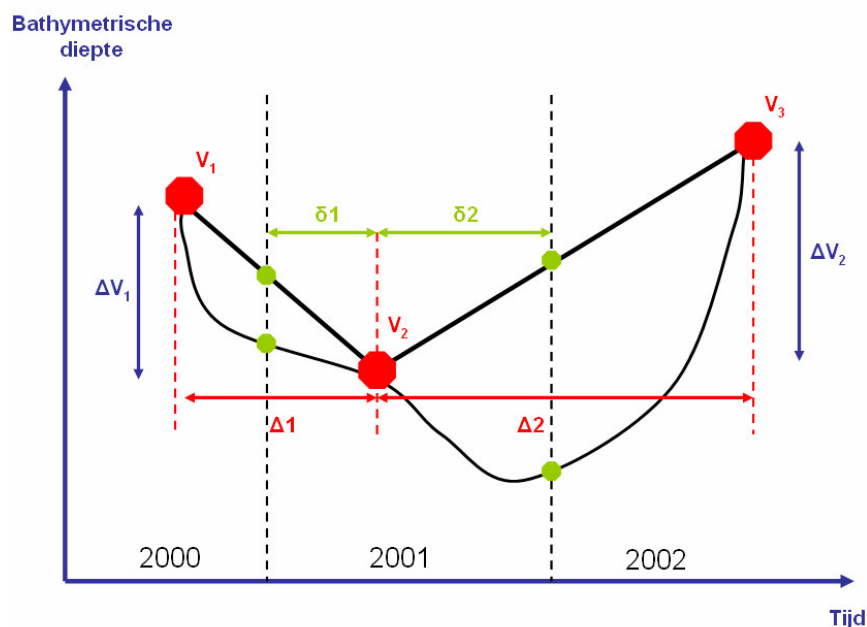
Topo-bathymetrische opmetingen zijn noodzakelijke input om een zandbalans te kunnen opstellen. Voor de Westerschelde werden jaarlijkse opmetingen van 1999 tot en met 2005 gebruikt in deze studie. Deze topo-bathymetrische data werd ter beschikking gesteld door Rijkswaterstaat Zeeland. Voor de Beneden Zeeschelde werden tweejaarlijkse opmetingen tussen 2000 en 2005 gebruikt. In de even jaren werd de zone tussen de Belgisch-Nederlandse grens en fort Filip opgemeten, in de oneven jaren het gebied van fort Filip tot Rupelmonde. Deze data werd door de Vlaamse Hydrografie ter beschikking gesteld. Echter het tijdstip van opname voor de verschillende lodingsvakken van het Schelde-estuarium is niet hetzelfde voor alle jaargangen. Als gevolg hiervan is de tijdsduur tussen 2 opeenvolgende lodingen niet constant. Om hieraan een oplossing te bieden, werd een zogenaamde synchronisatie van de lodingsdata uitgevoerd.

Van elk lodingsvak is de exacte datum van opname gekend. Echter gezien de uitgestrektheid van de lodingsvakken, worden deze niet in 1 dag opgemeten maar verspreid over enkele dagen tot zelfs enkele weken. Daarom werd voor elk lodingsvak een zogenaamde karakteristieke week van opname gedefinieerd: dit is het midden van de periode over dewelke de ladingen in een vak werden uitgevoerd.

Voor de zandbalans is de topo-bathymetrie op zich niet belangrijk, maar wel het verschil in topo-bathymetrie tussen 2 opeenvolgende opmetingen. Rekening houdend met de karakteristieke week van opname werd het wekelijkse volumeverschil per lodingsvak bepaald, gebaseerd op de jaarlijkse opmetingen. Op basis van deze wekelijkse volumeverschillen werd de totale volumeverandering tussen 2 opeenvolgende kalenderjaren bepaald als volgt (zie Figuur 5 voor de betekenis van de verschillende termen):

$$\Delta V_{2001} = \Delta V_1 \times \frac{\delta 1}{\Delta 1} + \Delta V_2 \times \frac{\delta 2}{\Delta 2}$$

Deze methode is een benadering van de realiteit aangezien er wordt verondersteld dat de morfologische evoluties tussen 2 opmetingen constant in de tijd zijn. Echter wegens gebrek aan meer gedetailleerde informatie is deze benadering de best mogelijke.



Figuur 5 : Schematische weergave hypothese lineaire morfologische evolutie

7.2.3 Bagger- en storthoeveelheden

Aangezien de topo-bathymetrische volumeverschillen worden omgevormd naar kalenderjaren (cfr. paragraaf 7.2.2) is verwerking van de bagger- en stortgegevens niet nodig. Wegens de (weliswaar beperkte) afwijkingen tussen de BIS data en de baggerstatistiek, werd besloten om de jaarlijkse bagger- en storthoeveelheden uit de baggerstatistiek te gebruiken. Hierbij werd enkel de zandfractie, de fractie met een densiteit groter dan 1.6 ton/m³, in rekening genomen.

De beunvolumes werden hierbij omgerekend naar in situ volumes door de 10% regel toe te passen.

Aangezien de volumebalans zal worden uitgerekend per peilvak, dient gekend te zijn in welk peilvak een bepaalde drempel of stortlocatie is gelegen. Voor de meeste bagger- en stortlocaties is dit eenduidig te bepalen. Echter sommige ingreeplocaties liggen op de grens van 2 verschillende peilvakken. Voor deze locaties werd aan de hand van de BIS intensiteitskaart per jaar bepaald welke hoeveelheid tot het ene peilvak behoort, en welke hoeveelheid tot het andere. In bijlage D wordt deze verdeling van de ingreeplocaties over de verschillende lodingsvakken gegeven.

7.2.4 Zandwinhoeevelheden

Net zoals de bagger- en storthoeveelheden is kennis van de jaarlijkse zandwinhoeevelheden noodzakelijk. Voor de Westerschelde werd hiervoor data van Rijkswaterstaat Zeeland gebruikt. Voor de Beneden Zeeschelde werd deze informatie uit de baggerstatistiek gehaald. Aangezien van de zandwindata geen intensiteitskaarten beschikbaar zijn, werden deze hoeveelheden uniform verdeeld over de vergunde zones. Tevens werd het verband tussen elk zandwinvak en het bijhorende peilvak opgesteld: dit ten einde de volumebalans van elk peilvak te kunnen bepalen. Dit verband is eveneens terug te vinden in bijlage D.

7.2.5 Berekeningswijze zandbalans

Op basis van de beschikbare lodingsdata wordt voor elk balansvak en voor elk jaar de totale sedimentvolumeverandering (ΔV_{tot}) berekend. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de lineaire interpolatie zoals beschreven in paragraaf 7.2.2. Voor 2005 werd in tegenstelling tot de andere jaren gebruik gemaakt van een extrapolatie van de topo-bathymetrische data: dit zou kunnen resulteren in een kleinere betrouwbaarheid van de resultaten, doch wegens gebrek aan recentere topo-bathymetrische opmetingen is dit de best toepasbare methode.

Uit de bagger-, stort- en zandwingegevens werd per balansvak en per kalenderjaar een overzicht gemaakt van de menselijke ingreephoeveelheden (ΔV_{ingr}). Baggeren en zandwinnen worden hierbij negatief voorgesteld aangezien er zand uit het systeem wordt onttrokken, terwijl storten positief is. De som van al deze hoeveelheden geeft een beeld van de hoeveelheid zand die door menselijk toedoen in of uit een balansvak wordt gebracht.

Het verschil tussen de gemeten sedimentvolumeverandering (ΔV_{tot}) en de netto ingrepen (ΔV_{ingr}) noemt men de netto of natuurlijke erosie of sedimentatie (ΔV_{nat}) van een balansvak. Dit kan worden beschouwd als de reactie van het estuariene systeem in afwezigheid van menselijk ingrijpen. Echter hierbij dient opgemerkt te worden dat de beschouwde natuurlijke evolutie niet louter de evolutie ten gevolge van de natuurlijke fysische systeemprocessen is, maar eveneens bestaat uit een reactie van het estuariene systeem op de antropogene invloeden.

De jaarlijkse sedimentvolumeveranderingen (ΔV_{tot}) en de netto ingrepen (ΔV_{nat}) per balansvak vormen de zandhuishouding van dit vak. Het opstellen van een zandbalans komt neer op het beschrijven van de uitwisseling van sediment tussen de verschillende balansvakken. Door de verschillende balansvakken samen te voegen is het mogelijk om de uitwisseling tussen het estuarium en de monding te bepalen. Wordt er zand in het systeem geïmporteerd of is er een netto export van zand uit het estuarium.

Om de zandbalans te kunnen bepalen, moeten een aantal aannames worden gemaakt. Deze worden hieronder kort samengevat. In het vervolg van deze studie zal de gevoeligheid van deze aannames ten opzichte van de zandbalans worden bestudeerd.

- Het zandtransport ter hoogte van Rupelmonde is gelijk aan 0. Door de bovenstroomse rivieren wordt weldegelijk een hoeveelheid sediment in het systeem gebracht, doch dit sediment bestaat hoofdzakelijk uit slib en wordt in deze studie bijgevolg niet beschouwd (pers. comm. ir Eric Taverniers).
- Jaarlijks sedimenteert in het Verdrongen Land van Saeftinge 0.3 Mm³ zand. Deze aanname is in overeenstemming met vroegere studies [2,3,4,5,6]. Hiervan komt 0.2 Mm³ uit lodingsvak 1 van de Westerschelde, 0.1 Mm³ uit lodingsvak 2. Deze verdeling werd vastgesteld in [3].

Volgens [13] kan een kwalitatieve methode gebruikt worden om de invloed van het menselijk handelen op de volumeverandering in een gebied te bepalen. Hierbij worden 4 klassen onderscheiden:

1. V_{tot} en V_{nat} hebben dezelfde richting en zijn even groot: geen menselijke ingrepen
2. V_{tot} en V_{nat} hebben dezelfde richting maar zijn niet even groot: menselijke ingrepen hebben invloed
3. V_{tot} en V_{nat} zijn net niet tegengesteld aan elkaar: menselijke ingrepen hebben kritische invloed
4. V_{tot} en V_{nat} hebben een tegengestelde richting: menselijke ingrepen zijn sturend

7.2.6 Invloed onzekerheden

Gezien de rol van de zandbalans in het beleid en het beheer van het Schelde-estuarium, is het belangrijk even stil te staan bij de onzekerheden op de getallen uit deze balans. In [5,6] wordt uitvoerig ingegaan op de onnauwkeurigheden en onzekerheden van de gebruikte data in een zandbalans studie en hun cumulatief effect op de uiteindelijke balanswaarden. De lezer wordt verwezen naar deze rapporten indien hij hierover meer informatie wenst.

Aangezien in deze studie werd gebruik gemaakt van data vanaf 1999 is de betrouwbaarheid van de data logischerwijs groter dan historische data gebruikt in [5,6]. Voor de topo-bathymetrische opmetingen werd gebruik gemaakt van de meest recente singlebeam techniek (voor de Westerschelde in combinatie met LIDAR techniek voor de intertidale gebieden) gecombineerd met een betrouwbaar plaatsbepalingssysteem. De menselijke ingreephoeveelheden werden sinds 1999 eveneens met de nodige verhoogde betrouwbaarheid opgemeten en bewaard, temeer omdat voor baggeren en storten intensiteitskaarten voorhanden zijn. Echter desondanks blijft er een niet onbelangrijke onzekerheid op de balansresultaten bestaan, veroorzaakt door bijvoorbeeld de gebruikte interpolatie methode, het niet eenduidige onderscheid tussen zand en slib, de schematische weergave van zandwinning, enz.

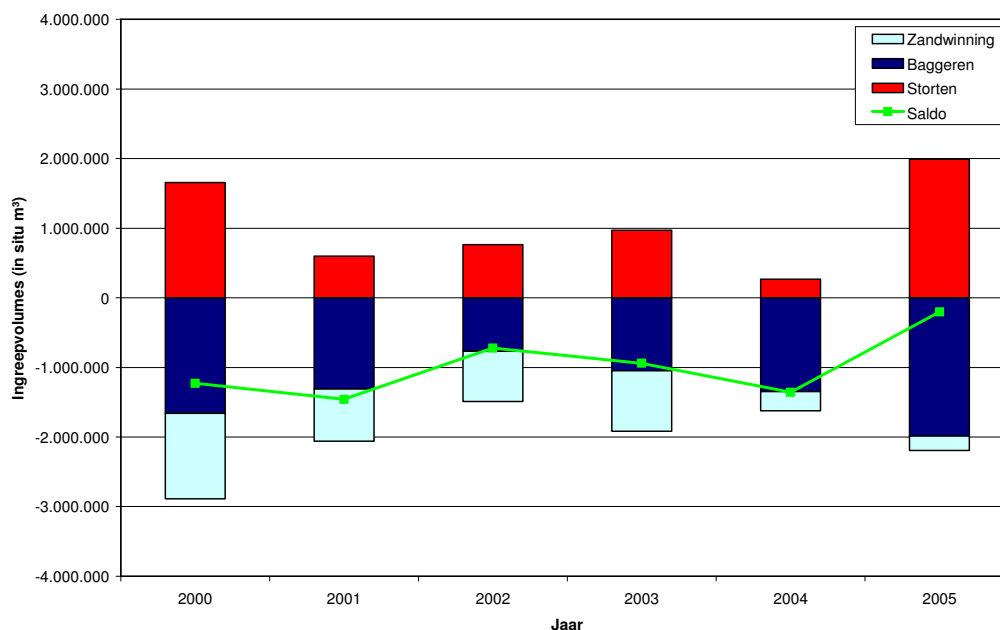
7.3 Resultaten Beneden Zeeschelde

In deze studie wordt de Beneden Zeeschelde tussen de Belgisch-Nederlandse grens en Rupelmonde bestudeerd. De zone opwaarts Rupelmonde wordt niet beschouwd, wegens weinig relevant voor deze zandbalans studie. Het studiegebied wordt opgedeeld in 5 balansvakken, zoals aangegeven op Figuur 1. Enkel de afwaartse grens van het vak Saeftinge-Doel werd aangepast: hiervoor werd de Belgisch-Nederlandse grens gehanteerd.

7.3.1 Menselijke ingrepen

Een overzicht van de menselijke ingrepen per balansvak voor de Beneden Zeeschelde wordt gegeven in Figuur A.107. Uit deze figuur volgt dat het zwaartepunt van de ingrepen in het afwaartse deel van de Beneden Zeeschelde is gesitueerd. De stortingen en de zandwinning gebeuren bijna uitsluitend in het balansvak Saeftinge-Doel, vak grenzend aan de Westerschelde. In het meest opwaartse balansvak vinden zelfs helemaal geen menselijk ingrepen plaats. De ingreephoeveelheden variëren van jaar tot jaar. Opvallend is dat de zandwinning in de Beneden Zeeschelde vanaf 2004 sterk is afgenomen.

De jaarlijkse ingreepvolumes worden gegeven in Figuur 6. Naast baggeren, storten en zandwinning wordt eveneens het zogenaamde saldo getoond: dit is de som van alle menselijke ingrepen. Zoals blijkt uit de grafiek is het saldo steeds negatief, wat wijst op een antropogene export van sediment uit de Beneden Zeeschelde. Dit is grotendeels te wijten aan de zandwinning. Het feit dat bagger- en storthoeveelheden niet aan elkaar gelijk zijn, is te wijten aan opspuitingen waarvoor baggerzand werd gebruikt. In 2001 werd ongeveer 0.50 Mm³ zand opgespoten in Doelpolder Zuid, circa 0.24 Mm³ werd gebruikt voor het opvullen van het Doeldok. In 2004 is het grote verschil tussen bagger- en stortvolume te wijten aan opspuitingen voor de aanleg van het terrein rond het Deurganckdok (circa 1.35 Mm³).



Figuur 6 : Jaarlijkse ingreepvolumes Beneden Zeeschelde

Tot slot wordt opgemerkt dat hier enkel de zandfractie wordt beschouwd. In de Beneden Zeeschelde ter hoogte van de haven van Antwerpen bestaat een belangrijk deel van de bagger- en storthoeveelheden uit slib. Wanneer deze mee in rekening zouden worden genomen, is het beeld over de ingrepen volledig verschillend. Echter aangezien deze studie zich enkel beperkt tot de zandfractie, werd het slib hier niet beschouwd.

7.3.2 Zandbalans per balansvak

De zandbalans voor de 5 vakken van de Beneden Zeeschelde wordt gegeven in Figuren A.108 t.e.m. A.112. Hierbij wordt de totale volumebalans (ΔV_{tot}), de menselijke ingrepen (ΔV_{ingr}) en de natuurlijke volumebalans (ΔV_{nat}) getoond. Deze hoeveelheden worden cumulatief weergegeven van 2000 tot en met 2005, waarbij 1999 als referentiesituatie wordt beschouwd.

Balansvak Burcht-Rupelmonde

In dit balansvak vinden geen menselijke ingrepen plaats. Bijgevolg is de totale volumebalans en de natuurlijke volumebalans aan elkaar gelijk. Er treedt over de periode 2000-2005 een zeer beperkte erosie op, grootte-orde 100.000 m³ per jaar.

Balansvak Rede Antwerpen

De menselijke ingrepen in het balansvak – stortlocatie Vlakte van Hoboken en Plaat van Boomke – zijn zeer beperkt gedurende de studieperiode. Tot 2003 is er sprake van sedimentatie in dit vak, na 2003 treedt er erosie op. De menselijke ingrepen in dit vak zijn zeker niet sturend.

Balansvak fort Filip-Oosterweel

De baggerhoeveelheden in dit vak overtreffen de storthoeveelheden. Echter aangezien de totale en de natuurlijke volumeverandering hetzelfde teken hebben, zijn de menselijke ingrepen niet sturend. Deze ingrepen zorgen ervoor dat de optredende sedimentatie in dit vak beperkt blijft.

Balansvak Doel-fort Filip

In deze zone wordt een aanzienlijke hoeveelheid zand weggebaggerd. Dit wordt niet gecompenseerd daar er geen stortlocatie in dit balansvak is. De menselijke ingrepen zijn hier sturend: waar er in werkelijkheid een beperkte erosie optreedt, is de natuurlijke trend er één van beperkte sedimentatie.

Balansvak Saeftinge-Doel

In dit balansvak wordt het effect van de ingrepen vooral bepaald door de zandwinlocatie Schaar van Ouden Doel. Het effect van de menselijke ingrepen is kritisch: waar er in werkelijkheid een aanzienlij-

ke erosie optreedt, is de natuurlijke trend er één van stagnatie van het zandvolume. Het effect van de verminderde zandwinning in 2004 en 2005 is zichtbaar: de invloed van de ingrepen is in deze periode niet meer kritisch. Op de totale volumeverandering heeft de verminderde zandwinning blijkbaar geen effect, al kan dit eveneens te wijten zijn aan de extrapolatie van de topo-bathymetrische data in deze periode.

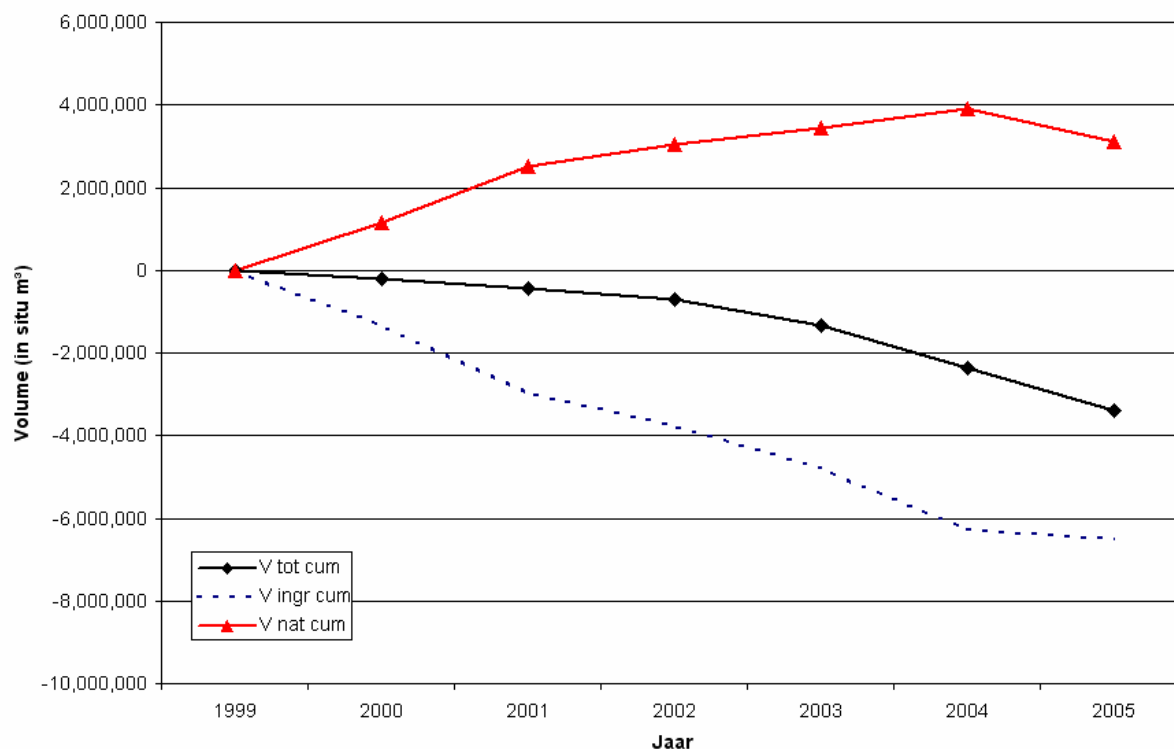
7.3.3 Sedimentuitwisseling tussen balansvakken

Uit de volumebalans per balansvak kan – wanneer de opwaartse randvoorwaarde gekend is – de sedimentuitwisseling tussen de verschillende vakken worden bepaald. Deze uitwisseling wordt gegeven in Figuren A.113 t.e.m. A.117 in de veronderstelling van geen zandtransport van opwaarts Rupelmonde. Gezien de zeer beperkte volumeverandering in het vak Burcht-Rupelmonde lijkt deze aanname gerechtvaardigd. Een gevoeligheidsonderzoek van deze hypothese volgt verder in dit rapport.

Op de uitwisseling tussen balansvakken Burcht-Rupelmonde en Rede van Antwerpen na, zijn alle transporten naar opwaarts gericht. Bovendien worden de getransporteerde volumes groter naarmate de vakken dichter bij de Belgisch-Nederlandse grens gelegen zijn. Dit resulteert in een zandtransport van de Westerschelde naar de Beneden Zeeschelde: de Beneden Zeeschelde importeert met andere woorden sediment uit de Westerschelde. In 2000 en 2001 bedraagt deze import grootte-orde 1.0 Mm³, tussen 2002 en 2004 iets minder dan 0.5 Mm³ en van 2004 tot 2005 is de import omgeslagen in een export van sediment. Over de studieperiode 2000 tot 2005 werd ongeveer 3.0 Mm³ zand van de Westerschelde getransporteerd naar de Beneden Zeeschelde.

7.3.4 Globale zandbalans Beneden Zeeschelde

Naast de zandbalans van de verschillende deelgebieden, is het eveneens interessant om de balans van de Beneden Zeeschelde als geheel te bestuderen. Deze balans wordt gegeven in Figuur 7. Zoals reeds vastgesteld in Figuur 6 is het netto effect van de menselijke ingrepen een antropogene export van zand uit de Beneden Zeeschelde. De ingrepen lijken bovendien een kritische invloed te hebben: waar er in werkelijkheid een beperkte erosie optreedt, zou de natuurlijke evolutie van het systeem er één van sedimentatie zijn.



Figuur 7 : Zandbalans van de Zeeschelde

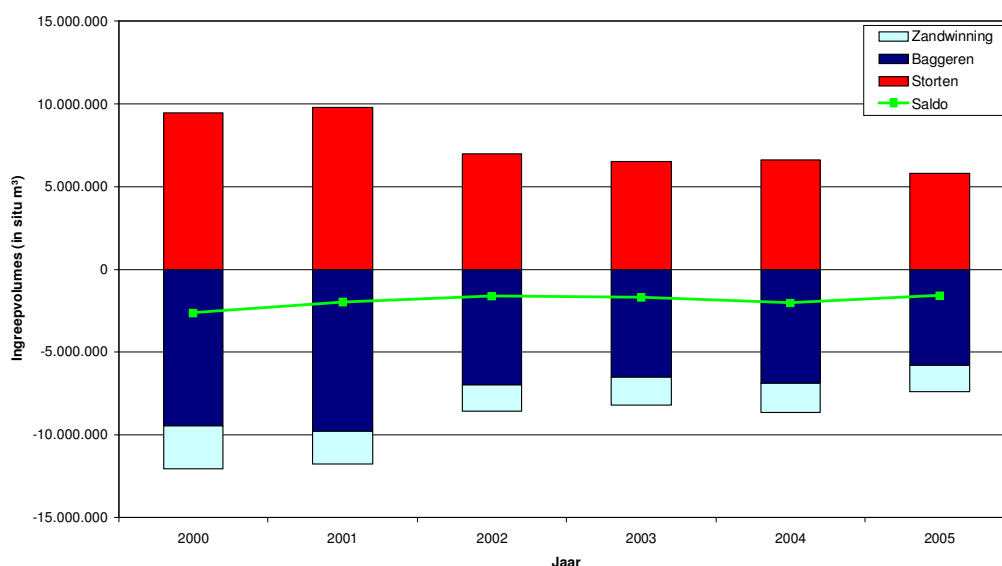
7.4 Resultaten Westerschelde

Voor de berekening van de zandbalans wordt de Westerschelde opgedeeld in 6 balansvakken, overeenkomstig de lodingsvakken getoond in Figuur 1. Enkel de opwaartse grens van lodingsvak 1 werd gewijzigd: hiervoor werd de Belgisch-Nederlandse grens gehanteerd. Het mondingsgebied van de Schelde tussen Vlissingen-Breskens en de Noordzee viel buiten de opdracht van deze studie.

7.4.1 Menselijke ingrepen

In tegenstelling tot de Beneden Zeeschelde zijn de menselijke ingrepen in de Westerschelde veel meer verspreid over de balansvakken. Dit wordt geïllustreerd in Figuur A.118. Uit deze grafieken volgt eveneens dat het baggeren van zand vooral in het oostelijk en het middendeel van de Westerschelde plaatsvindt, terwijl het storten vooral in het middendeel en het westelijk gedeelte is geconcentreerd. Dit is een gevolg van de gewijzigde bagger- en stortstrategie na de studie Oost-West: om de aanzandingssnelheid van de drempels in het oostelijke deel van de Westerschelde tegen te gaan, verplaatst men door middel van baggeren en storten zand van het oosten naar het westen. De zandwinhoeveelheden worden vooral uit balansvakken 2 en 3 onttrokken.

De jaarlijkse ingreephoeveelheden worden gegeven in Figuur 8. In de Westerschelde zijn de jaarlijkse bagger- en storthoeveelheden steeds ongeveer aan elkaar gelijk: een beperkte afwijking is mogelijk ten gevolge van het storten van sediment over de grens. Algemeen kan men stellen dat het saldo van de ingrepen gelijk is aan de gewonnen hoeveelheden.



Figuur 8 : Jaarlijkse ingreepvolumes Westerschelde

In de Westerschelde is meer dan 95 % van het gebaggerde sediment zand. De invloed van slib in dit deel van het estuarium is zeer beperkt. Enkel op de westelijke drempels wordt soms een beperkte hoeveelheid slib gebaggerd.

7.4.2 Zandbalans per balansvak

De zandbalans voor de 6 vakken van de Westerschelde wordt gegeven in Figuren A.119 t.e.m. A.124. De voorstellingswijze van deze balans is dezelfde als voor de Beneden Zeeschelde: zowel de totale volumebalans (ΔV_{tot}), de menselijke ingrepen (ΔV_{ingr}) als de natuurlijke volumebalans (ΔV_{nat}) worden in deze figuren getoond. De hoeveelheden worden cumulatief weergegeven van 2000 tot en met 2005, waarbij 1999 als referentiesituatie wordt beschouwd.

Balansvak 1

In balansvak 1 wordt er hoofdzakelijk gebaggerd. Storten en zandwinning zijn hier zo goed als afwezig. De menselijke ingrepen sturen de evolutie van het systeem: de totale volumebalans valt bijna samen met de menselijke ingrepen. De natuurlijke volumebalans is tegengesteld aan de totale volumebalans: de natuurlijke evolutie van het systeem is zeer beperkte sedimentatie.

Balansvak 2

In balansvak 2 zijn de antropogene ingrepen overduidelijke sturend tot 2003: de totale volumebalans valt in deze periode ongeveer samen met de menselijke ingrepen. Na 2003 neemt de erosiesnelheid van de totale volumeverandering af, terwijl de menselijke ingrepen van dezelfde grootte-orde blijven. De menselijke ingrepen blijven echter sturend daar natuurlijke en totale volumeverandering een tegengestelde evolutie kennen.

Balansvak 3

In balansvak 3 – het zogenaamde middendeel van de Westerschelde – wordt er ten gevolge van de menselijke ingrepen zand in het vak geïmporteerd. Desondanks is de totale volumeverandering er één van erosie: de ingrepen zijn dus niet sturend. In afwezigheid van de menselijke ingrepen zou de erosie in dit deel van het estuarium sneller gebeuren.

Balansvak 4

De natuurlijke evolutie van balansvak 4 is er één van stagnatie: noch erosie noch sedimentatie zou optreden moest de mens hier geen invloed uitoefenen. Echter daar er in werkelijkheid netto sediment in dit balansvak wordt geïmporteerd door storten, volgt de totale volumebalans de ingreephoeveelheden. De menselijke ingrepen zijn hier dus sturend.

Balansvak 5

In balansvak 5 is er tot 2002 quasi geen menselijke invloed, na 2002 is er een beperkte erosie ten gevolge van baggeren en zandwinning waar te nemen. De totale volumebalans van dit vak vertoont een beperkte sedimentatie de eerste 2 jaren, gevolgd door een zeer sterke erosie de daaropvolgende 4 jaren. Deze erosie van ongeveer 3.0 Mm³ zand per jaar kan zeker niet alleen worden verklaard door de invloed van de menselijke ingrepen. Het is vooralsnog onduidelijk wat deze sterke erosie veroorzaakt.

Balansvak 6

De stortingen in balansvak 6 zijn sturend voor de volumebalans in dit vak. In afwezigheid van menselijke invloeden zou in dit vak quasi geen verandering van het volume optreden. Echter de invloed van de mens is sturend en zorgt ervoor dat de totale volumeverandering in dit vak eveneens een trend van beperkte sedimentatie vertoont.

7.4.3 Sedimentuitwisseling tussen balansvakken

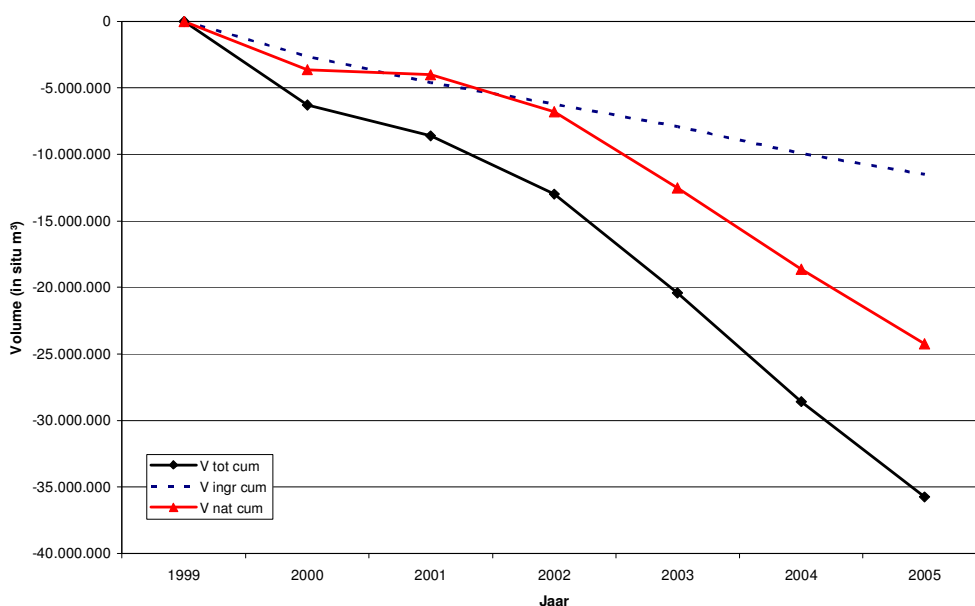
Opnieuw kan op basis van de volumebalans per balansvak de uitwisseling van sediment tussen de verschillende balansvakken worden bepaald. Als opwaartse randvoorwaarde wordt hier de hoeveelheid sediment berekend bij de balansstudie van de Beneden Zeeschelde aangehouden. Voor het Verdrongen Land van Saeftinge wordt een import van 0.3 Mm³ zand uit de Westerschelde (0.2 Mm³ uit balansvak 1, 0.1 Mm³ uit balansvak 2) verondersteld, in overeenstemming met [3]. De grafieken die de cumulatieve uitwisseling van sediment in de tijd weergeven worden gegeven in Figuren A.125 t.e.m. A.130.

In het oostelijk en het middendeel van de Westerschelde is er een beperkte opwaartse uitwisseling van sediment tussen de balansvakken. Tussen het middendeel en het westelijke deel is er bijna geen uitwisseling van sediment: het systeem is tot aan deze grens in evenwicht wat betreft de zandbalans. Tussen balansvak 4 en 5 is er eveneens slechts een verwaarloosbaar transport. Dit verandert echter aan de grens tussen balansvak 5 en 6: hier worden plots grote hoeveelheden zand van vak 5 naar vak 6 getransporteerd. Balansvak 6 heeft zelf geen nood aan grote zandhoeveelheden, en transporteert deze door naar de monding. Resultaat is een belangrijke export van zand uit de Westerschelde naar de monding. Tussen 1999 en 2002 was deze export vrij beperkt, vanaf 2002 echter bedraagt deze ongeveer 5.0 Mm³ per jaar.

7.4.4 Globale zandbalans Westerschelde

De gecumuleerde zandbalans van de Westerschelde wordt gegeven in Figuur 9. Uit deze figuur blijkt dat er netto gezien sediment uit het systeem wordt gehaald door de mens, bijna uitsluitend te wijten aan zandwinning. De huidige trend van het systeem is – net als de natuurlijke trend – er één van sterke erosie. Vooral sinds 2002 is deze erosie sterk uitgesproken. De menselijke ingrepen versterken deze natuurlijke trend.

In vergelijking met de Beneden Zeeschelde zijn de veranderingen in de Westerschelde – zowel menselijke ingrepen als topo-bathymetrische veranderingen – aanzienlijk groter. Echter het lijkt alsof de sterk eroderende trend in balansvak 5 een zeer belangrijke invloed heeft op de balans van de gehele Westerschelde. Op basis van de topo-bathymetrische kaarten is niet duidelijk wat de grote erosie in dit balansvak veroorzaakt. Er is geen uitgesproken zone van sterke erosie in dit balansvak terug te vinden.

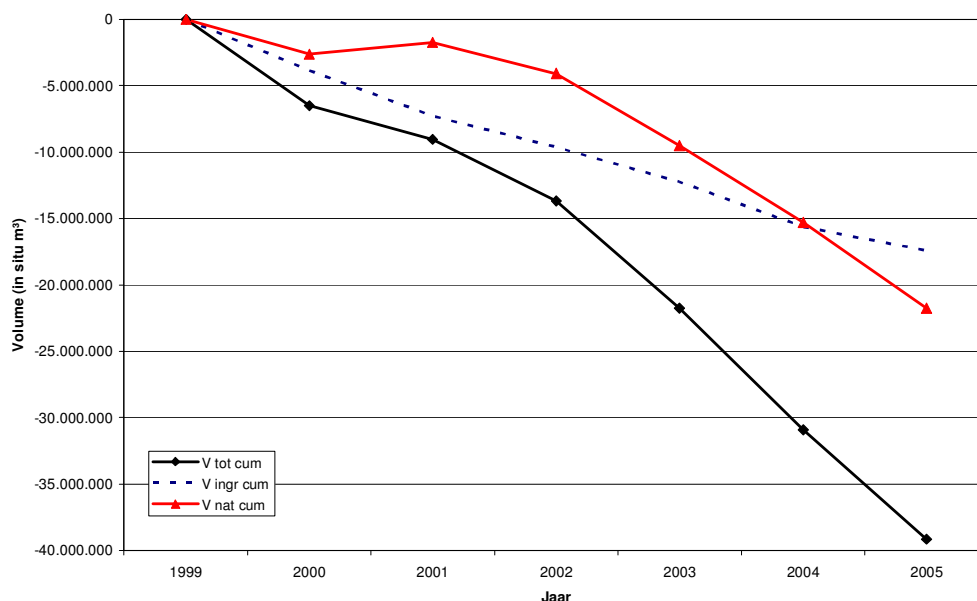


Figuur 9 : Zandbalans van de Westerschelde

7.5 Resultaten Schelde-estuarium

In voorgaande resultaten werd de zandbalans van de Beneden Zeeschelde en de Westerschelde afzonderlijk bestudeerd. In Figuur 10 wordt de balans van het gehele Schelde-estuarium van Rupelmonde tot Vlissingen-Breskens gegeven. Daar de veranderingen in de Beneden Zeeschelde beperkt zijn ten opzichte van de veranderingen in de Westerschelde, zal vooral het patroon van de Westerschelde maatgevend zijn.

De totale volumeverandering van het Schelde-estuarium vertoont een sterke erosie. Deze wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door de menselijke ingrepen, die de natuurlijke trend versterken. Op het einde van de studieperiode is er een totale export van 40.0 Mm³ zand, waarvan ongeveer 20.0 Mm³ te wijten aan natuurlijke erosie en 20.0 Mm³ te wijten aan menselijke ingrepen. De sterke erosie van balansvak 5 van de Westerschelde lijkt ook in de totale balans van het Schelde-estuarium een belangrijke bijdrage te leveren aan de opgetreden erosie.



Figuur 10 : Zandbalans van het Schelde-estuarium (exclusief monding)

7.6 Gevoeligheidsonderzoek hypothesen

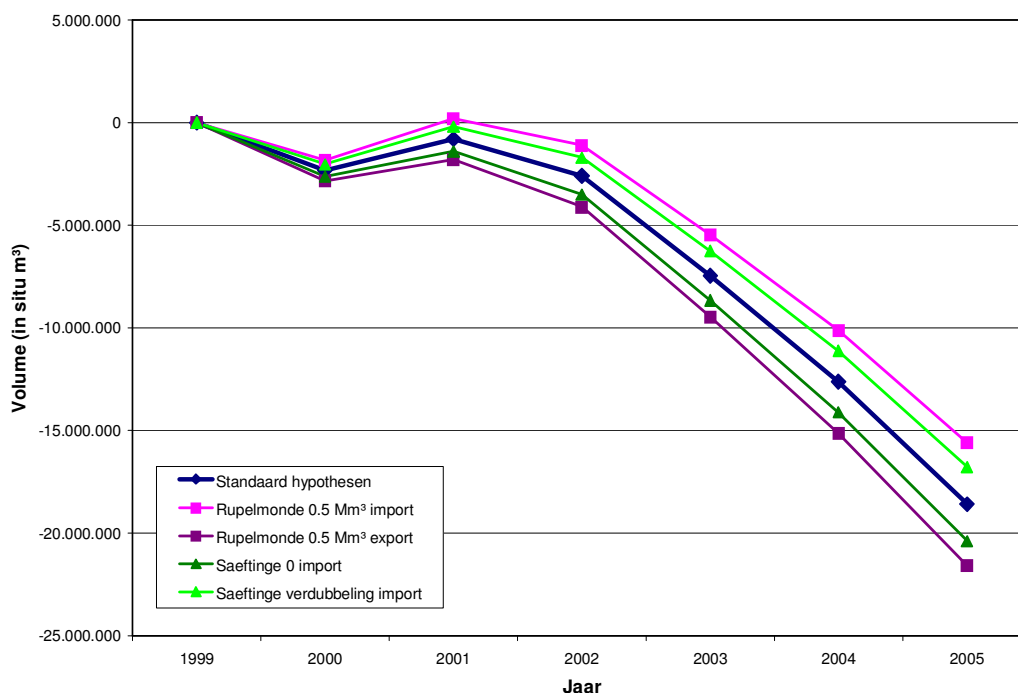
Teneinde het effect van de gemaakte hypothesen te kunnen toetsen, wordt in deze paragraaf een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd. Hierbij zal de opgelegde randvoorwaarde voor het sediment transport aan de opwaartse rand ter hoogte van Rupelmonde gevarieerd worden binnen realistische waarden. Eenzelfde oefening zal gemaakt worden voor de sediment randvoorwaarde ter hoogte van het Verdrongen Land van Saeftinge.

7.6.1 Sedimenttransport ter hoogte van Rupelmonde

Ter hoogte van Rupelmonde werd het sedimenttransport gelijk aan 0 m³ per jaar gesteld: dit betekent dat er noch sediment van opwaarts Rupelmonde in de Beneden Zeeschelde binnenstroomt, noch sediment van de Beneden Zeeschelde naar opwaarts Rupelmonde wordt getransporteerd. Het is belangrijk te benadrukken dat het hier enkel over zand gaat: de bovenstroomse rivieren transporteren weldegelijk een hoeveelheid slib naar de Beneden Zeeschelde. Deze hypothese van nultransport werd bevestigd door de berekende volumeverandering in het peilvak Burcht-Rupelmonde: in de periode 2000-2005 werd bijna geen volumeverandering vastgesteld. Er werd een beperkte erosie van ongeveer 0.1 Mm³ per jaar genoteerd.

Teneinde de invloed van deze randvoorwaarde na te gaan, wordt er eerst een jaarlijkse sedimentimport van 0.5 Mm³ verondersteld, vervolgens een jaarlijkse export van 0.5 Mm³. Wanneer men weet dat het meest opwaartse balansvak dat grenst aan deze rand over een periode van 5 jaar een volumeverandering ondergaat die kleiner is dan 0.5 Mm³, dan beseft men dat dit zeer extreme waarden zijn.

In Figuur 11 wordt het resultaat van deze aannames op de sedimentuitwisseling met de monding weergegeven. Hieruit volgt dat de invloed van de gewijzigde randvoorwaarde eenvoudig is in te schatten: bij een import van 0.5 Mm³ zand ter hoogte van Rupelmonde zal de export ter hoogte van de monding met 0.5 Mm³ per jaar afnemen. Het omgekeerde doet zich voor bij een export ter hoogte van Rupelmonde. Op het einde van de studieperiode betekent dit een onzekerheidsinterval van 6 Mm³ op de berekende export. Echter daar de cumulatieve export grootte-orde 20 Mm³ zand bedraagt, verandert dit niets aan de conclusies. Wijziging van deze randvoorwaarde heeft echter wel een belangrijke invloed op de uitwisseling van sediment ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens.



Figuur 11: Sedimentuitwisseling tussen Westerschelde en monding onder verschillende hypothesen

7.6.2 Sedimentimport Verdrongen Land van Saeftinge

Voor het Verdrongen Land van Saeftinge werd een zandimport ter grootte van 0.3 Mm^3 per jaar verondersteld. Deze waarde werd berekend in [3] en werd recent bevestigd in [6]. Deze import werd volgens een sleutel 2/3 vanuit Westerschelde balansvak 1 en 1/3 vanuit Westerschelde balansvak 2.

Om de gevoeligheid van deze randvoorwaarde te onderzoeken, werd de sedimentuitwisseling berekend met als randvoorwaarde 0 m^3 per jaar import. Dit is een extreme randvoorwaarde aangezien de ophoging van het Verdrongen Land van Saeftinge reeds meermaals werd vastgesteld. Als bovenste grens voor sedimentuitwisseling werd een verdubbeling van de zandimport verondersteld.

De resultaten van dit gevoeligheidsonderzoek worden getoond in Figuur 11. Opnieuw is het effect van deze randvoorwaarde op de sedimentuitwisseling ter hoogte van de monding eenduidig in te schatten: in geval van geen import vergroot de export aan de monding met 0.3 Mm^3 per jaar, in geval van verdubbeling van de zandimport verkleint de export aan de monding met 0.3 Mm^3 per jaar. Dit heeft echter geen invloed op het algemene beeld van sedimentuitwisseling tussen Westerschelde en monding. Aangezien het Verdrongen Land van Saeftinge afwaarts de Belgisch-Nederlandse grens ligt, heeft deze randvoorwaarde geen invloed op de sedimentuitwisseling tussen Beneden Zeeschelde en Westerschelde.

7.7 Vergelijking met historische studies

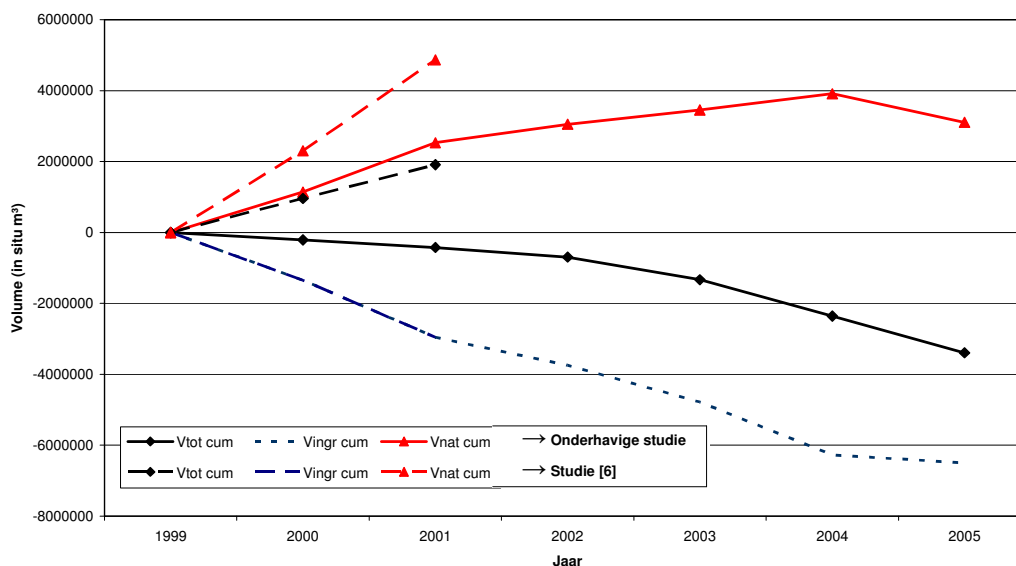
In deze paragraaf worden de bekomen volumebalansen voor de Beneden Zee- en de Westerschelde vergeleken met de balansen uitgerekend in vroegere studies. Gezien de korte periode die in deze studie wordt beschouwd en de recente data die werd gebruikt, komt enkel [6] hiervoor in aanmerking. Andere zandbalansstudies stoppen immers daar waar onderhavige studie begint.

7.7.1 Volumebalans Beneden Zeeschelde

Voor de Beneden Zeeschelde werden in [6] 10-jaarlijkse topo-bathymetrische opnames gebruikt. Er werd een lineaire interpolatie toegepast om te komen tot jaarlijkse zandbalansen. De in Figuur 12 getoonde cumulatieve volumeveranderingen werden bekomen door te interpoleren tussen de topo-bathymetrische opmeting van 1990 en 2002. In onderhavige studie werd gebruik gemaakt van 2-

jaarlijkse opmetingen van de Beneden Zeeschelde. Om te komen tot een jaarlijkse balans, werd eveneens een lineaire interpolatie in de tijd uitgevoerd.

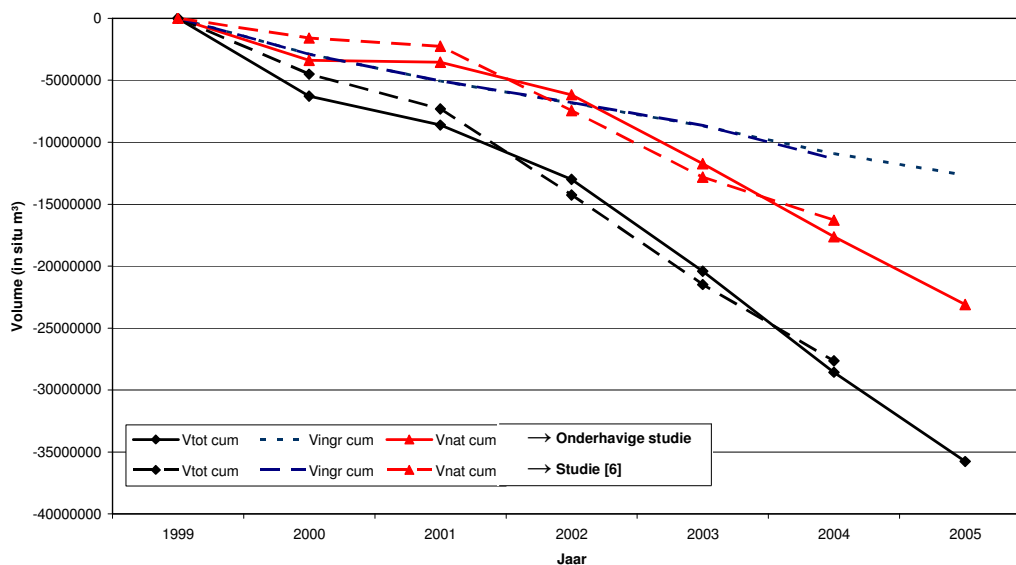
Uit Figuur 12 volgt dat de ingreephoeveelheden in beide studies dezelfde zijn. De totale volumeverandering echter is verschillend: in onderhavige studie wordt een beperkte erosie van de Beneden Zeeschelde berekend, terwijl dit in [6] een beperkte sedimentatie betrof. Gezien de grote tijdspanne tussen de topo-bathymetrische opmetingen uit studie [6] is het te verwachten dat de resultaten van onderhavige studie een grotere betrouwbaarheid hebben. De natuurlijke volumeverandering is in beide studies één van sedimentatie.



Figuur 12 : Zandbalans Beneden Zeeschelde – vergelijking met studie [6]

7.7.2 Volumebalans Westerschelde

Voor de Westerschelde is de vergelijking tussen onderhavige studie en studie [6] interessanter: enerzijds werd in beide studies gebruik gemaakt van jaarlijkse topo-bathymetrische opmetingen, anderzijds kan de balans van 2000 tot en met 2004 worden vergeleken. De vergelijking van de zandbalans voor de Westerschelde wordt gegeven in Figuur 13.



Figuur 13 : Zandbalans Westerschelde – vergelijking met studie [6]

Wat betreft de ingreephoeveelheden is er een beperkte afwijking tussen beide studies terug te vinden. Waar in onderhavige studies consequent de ingreephoeveelheden uit de baggerstatistiek werden gehanteerd, wijken de volumes gebruikt in [6] hier in beperkte mate van af. Dit is onder andere te wijten aan het feit dat in [6] de gebaggerde slibhoeveelheden – die in de Westerschelde beperkt zijn – eveneens mee in rekening werden gebracht. In onderhavige studie werd expliciet gekozen om dit niet te doen. De totale volumeverandering van beide studies vertoont een sterk gelijkaardig verloop, doch opnieuw zijn hier beperkte afwijkingen terug te vinden. Over het algemeen is de trend van sterke erosie van de Westerschelde dezelfde.

8 NATUURLIJKE EROSIE PROEFSTORTING WALSOORDEN

8.1 De stortproef bij Walsoorden

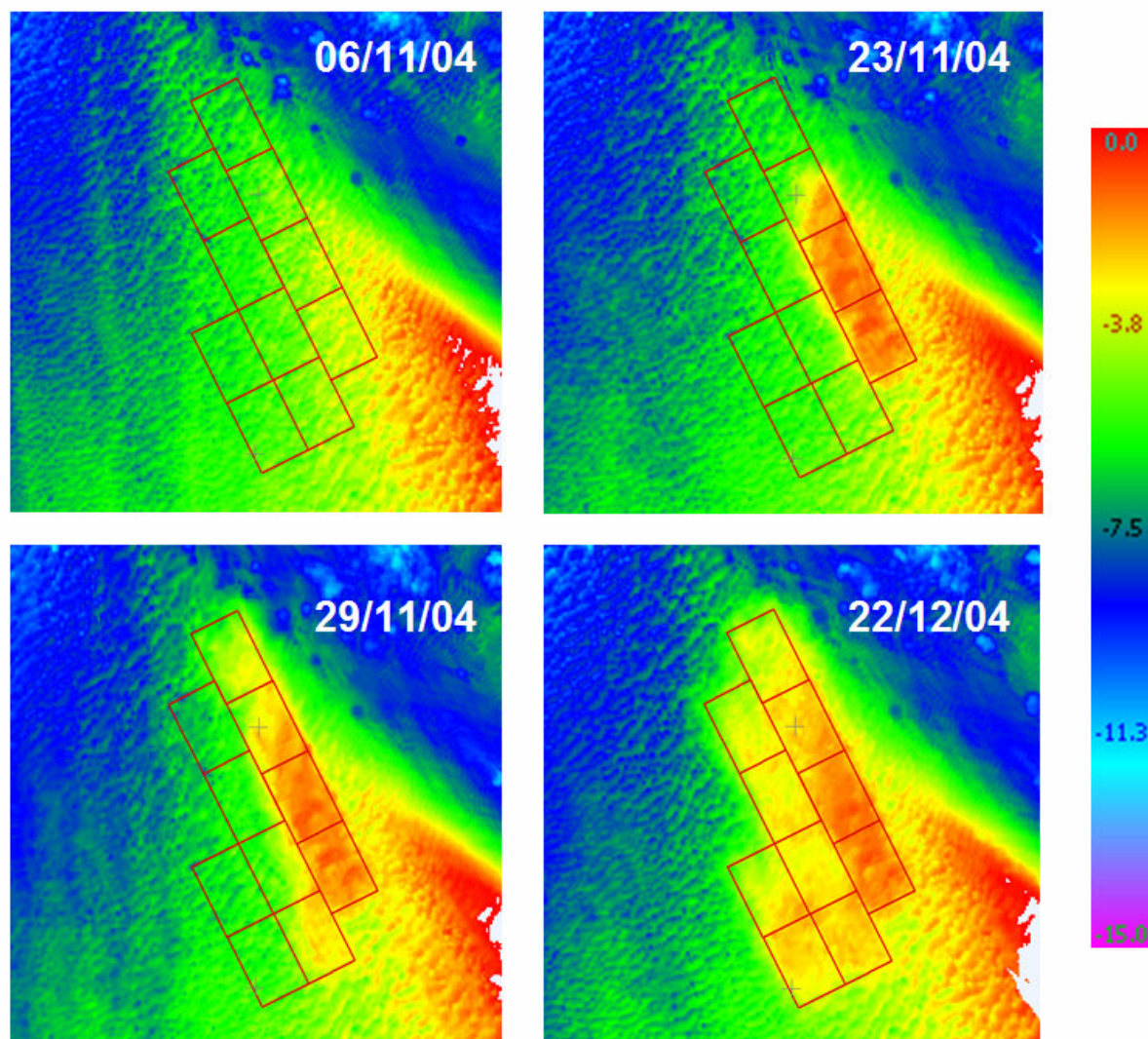
De stortproef bij Walsoorden werd uitgevoerd van 17 november 2004 tot 20 december 2004, onafgebroken 7 dagen op 7, zowel overdag als 's nachts. De stortproef werd volledig uitgevoerd binnen het vergunde stortvak Schaar van Waarde, waarbij in overeenstemming met de vergunning niet boven de -5.0 m NAP werd gestort. Tijdens de stortproef werd gebruik gemaakt van een sproeiponton, waarmee de baggerspecie op een gecontroleerde manier op de bodem kon worden aangebracht. Daarnaast biedt deze techniek het voordeel dat de vereiste diepgang klein is.



Figuur 14 : Sproeiponton (boven) en sproeikop (onder)

De sleephopper – die zand van natuurlijke drempels in de Westerschelde heeft opgebaggerd – vaart met gevulde beun naar de persleiding, die de koppeling tussen de sleephopper en het sproeiponton vormt. Via de persleiding wordt de baggerspecie naar het sproeiponton gepompt, waar de sproeikop het zand op een gecontroleerde wijze op de bodem aanbrengt. De stortzone werd hiervoor opgedeeld in vakken van 100 x 150 m, die één per één werden verhoogd (zie Figuur 15). Op die manier werd een totale hoeveelheid baggerspecie van ongeveer 500.000 m³ (beunvolume) gestort, resulterend in een sedimentlaag met een gemiddelde dikte van circa 2.5 m boven de initiële bodem. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de dikte van de storting niet uniform is, aangezien er niet gestort mocht wor-

den boven de -5.0 m NAP lijn. Voor meer informatie over de stortproef bij Walsoorden wordt verwezen naar [12].



Figuur 15 : Uitvoering stortproef Walsoorden
 Verticale schaal: m GLLWS

De evolutie van de stortingen in de tijd wordt gegeven in Figuur A.132. De densiteit van de baggerspecie is verschillend in de beun van het schip vergeleken met in situ. In de beun van het baggerschip krijgt de specie niet de tijd om volledig te bezinken, met als resultaat een grotere massa inhoud water. Wegens gebrek aan gegevens over het gewicht van de beunladingen, werd de vuistregel van 10% gehanteerd: het beunvolume wordt 10% groter dan het in situ volume verondersteld. In bijlage C werd opgemerkt dat dit voor stortingen in de Westerschelde een aanvaardbare benadering is.

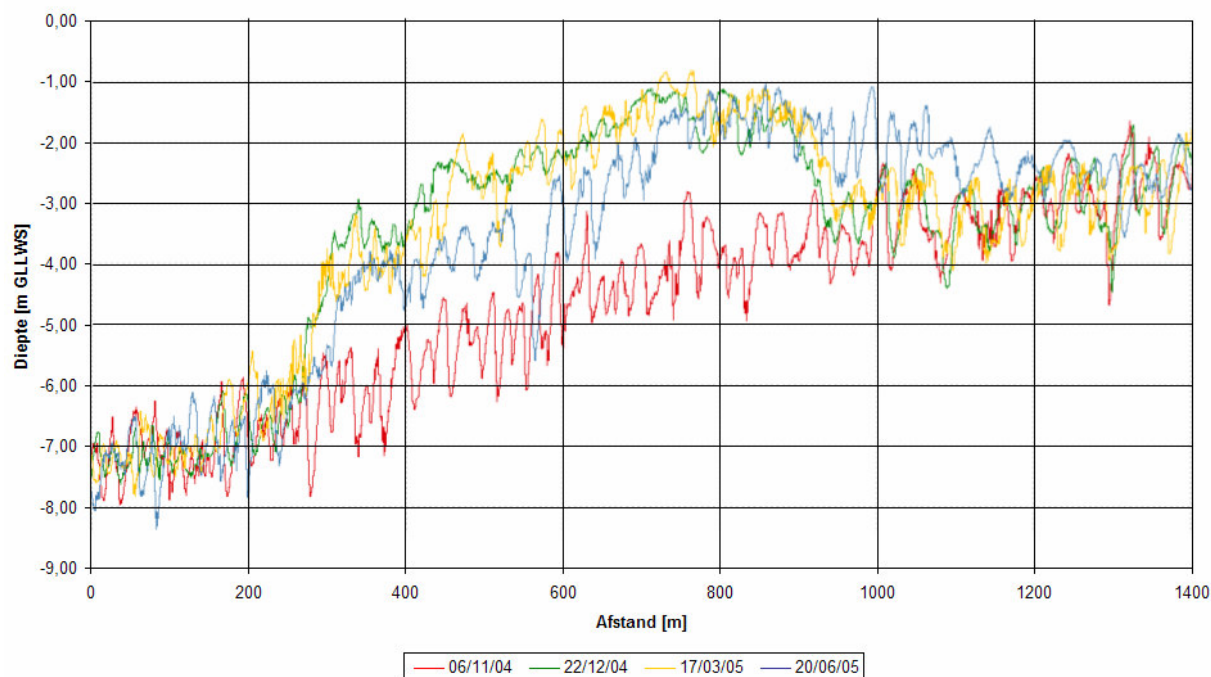
8.2 Onderzoek erosie proefstorting Walsoorden

Het erosiepatroon van de proefstorting te Walsoorden zal in deze paragraaf bestudeerd worden. In eerste instantie zal op basis van de multibeam opmetingen gekeken worden naar de morfologische evolutie van de stortproef. Door het invloedsgebied onder te verdelen in een rekenrooster, zal aan de hand van volumeberekeningen en een zandbalans meer in detail worden gekeken naar de preferentiële transportrichting.

8.2.1 Analyse op basis van multibeam opmetingen

Aan de hand van frequente multibeam opmetingen kon de morfologische evolutie van de gestorte 500.000 m³ baggerspecie gedetailleerd worden opgevolgd. De multibeam data heeft een hoge resolutie (gebruikt datarooster 1x1 m, originele meetdata zelfs hogere resolutie), zodat individuele bodemvormen onderscheiden kunnen worden.

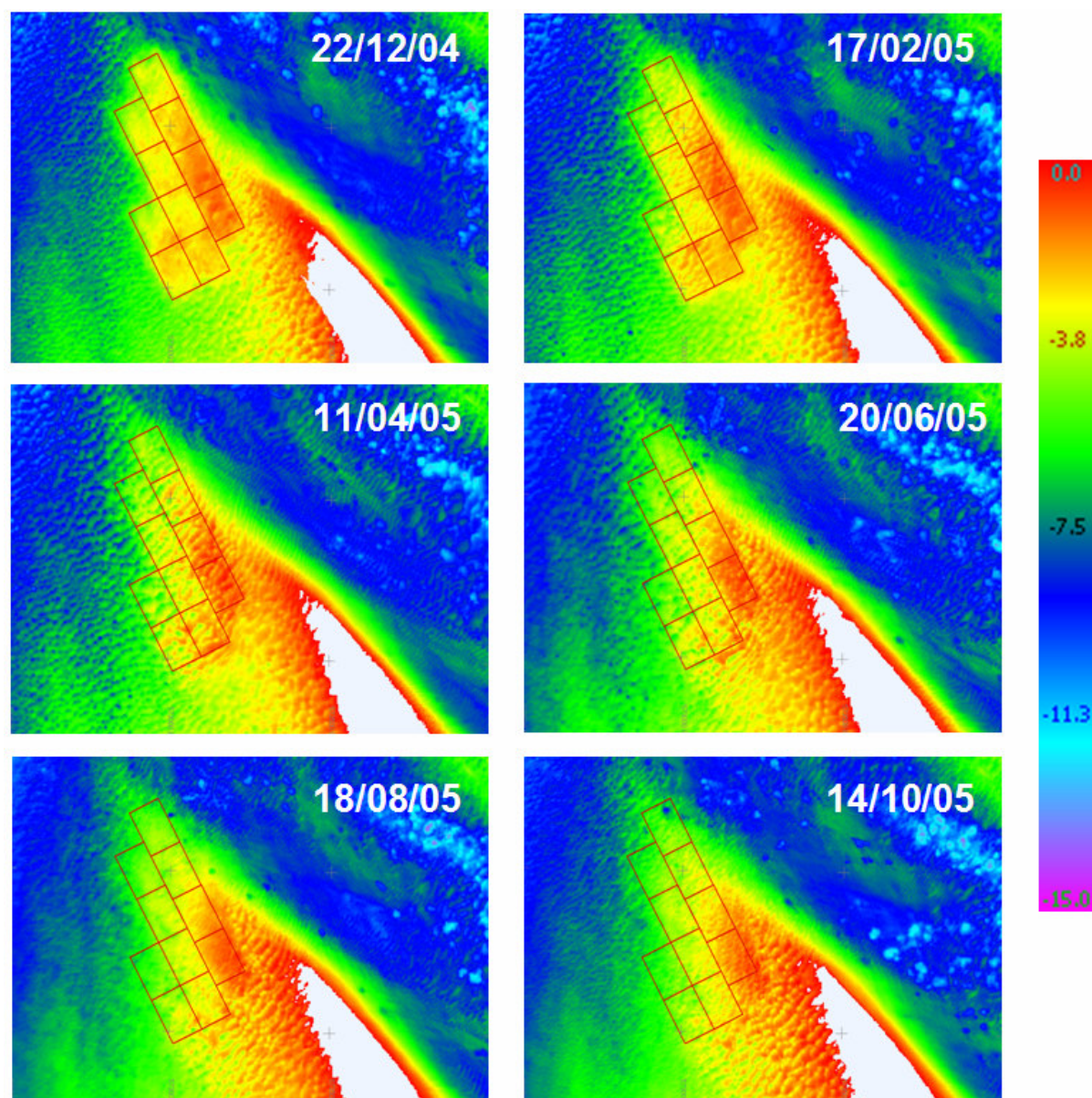
Initieel zijn er op de stortlocatie duinen met een gemiddelde hoogte van circa 1.0 m aanwezig (zie Figuur 16). Na uitvoering van de storting zijn er geen bodemvormen meer aanwezig: met behulp van de sproeikop is de bodem lokaal quasi vlak geworden. Drie maanden na het einde van de proef hebben zich bovenop de proefstorting duinen met een gemiddelde hoogte van 0.5 m ingesteld: de dynamiek in het stortgebied lijkt zich te herstellen. Nog eens 3 maanden later zijn de bodemvormen ter hoogte van de stortlocatie opnieuw even groot als voor de stortproef [12].



Figuur 16 : Evolutie profiel langsraai door stortzone

Analyse van de duinen ter hoogte van de stortproef leert dat deze zich voortplanten in de opwaartse richting, naar de plaat toe, wat wijst op een vloedgedomineerd transport. Dit wordt eveneens bevestigd door de evolutie van het langsprofiel in Figuur 16: aan de zeewaartse zijde is de storting enigszins geërodeerd, aan de landwaartse zijde is er sedimentatie merkbaar.

In Figuur 17 worden enkele multibeam opmetingen gepresenteerd: deze figuren tonen de evolutie van de gestorte specie met een tussenperiode van ongeveer 2 maanden. Hieruit blijkt dat de storting geleidelijk aan beweegt in de richting van de plaat, wat een bevestiging is van de vaststelling uit de evolutie van een langsprofiel doorheen de storting (Figuur 16). Een jaar na uitvoering van de stortproef heeft de gestorte specie aansluiting gevonden bij de noordelijke zandtong (zie Figuur A.131) en werd op die manier het ondiepwatergebied ter hoogte van de zeewaartse tip van de plaat uitgebreid.



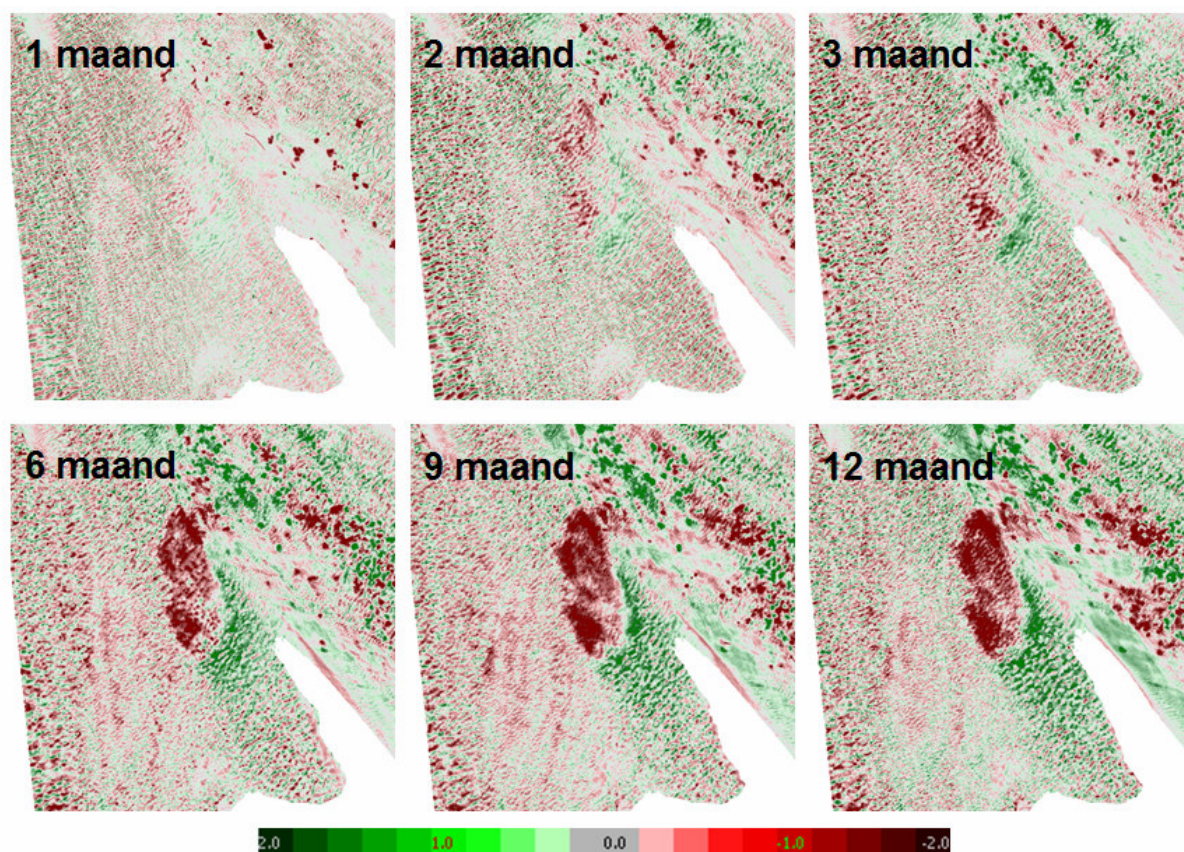
Figuur 17 : Evolutie stortproef Walsoorden

Verticale schaal: m GLLWS

Figuur 18 toont de erosie-sedimentatie patronen van de omgeving van de stortzone, respectievelijk 1, 2, 3, 6, 9 en 12 maanden na beëindiging van de stortproef. Als referentie voor deze verschilplots werd opmeting T4 gebruikt, de opmeting gemaakt na het beëindigen van de stortproef. De rode kleur duidt op erosie, groen op sedimentatie.

Na 1 maand is de lokale dynamiek van de bodemvormen al goed zichtbaar: de afwisseling van rode en groene zones wijst op het verschuiven van top en dal van de bodemvormen. De uitgesproken rode stippen op de figuur zijn het gevolg van zandwinning. Het is duidelijk dat de impact van deze activiteit zeer lokaal is. Ter hoogte van de stortproef is na 1 maand slechts een beperkte erosie terug te vinden, juist opwaarts de stortzone domineert de groene kleur wat op een lichte sedimentatie wijst. In de loop van de tijd wordt de erosie van de storting meer uitgesproken, en wordt dit geërodeerde materiaal teruggevonden in de schaar tussen de Noordelijke zandtong en de zeewaartse plaatip.

In de Schaar van Waarde wordt het effect van stortingen (groene zones) en zandwinning (rode putten) duidelijk teruggevonden. Tevens kan worden vastgesteld dat er een beperkte sedimentatie langsheen de noordoostelijke flank van de noordelijke zandtong optreedt. Het is voorlopig onduidelijk of dit een gevolg is van de proefstorting, de stortingen van onderhoudsbaggerwerk in de Schaar van Waarde of te wijten aan een natuurlijke ontwikkeling. In hoofdstuk 9 zal dit onderzocht worden.



Figuur 18 : Erosie/sedimentatie stortproef Walsoorden

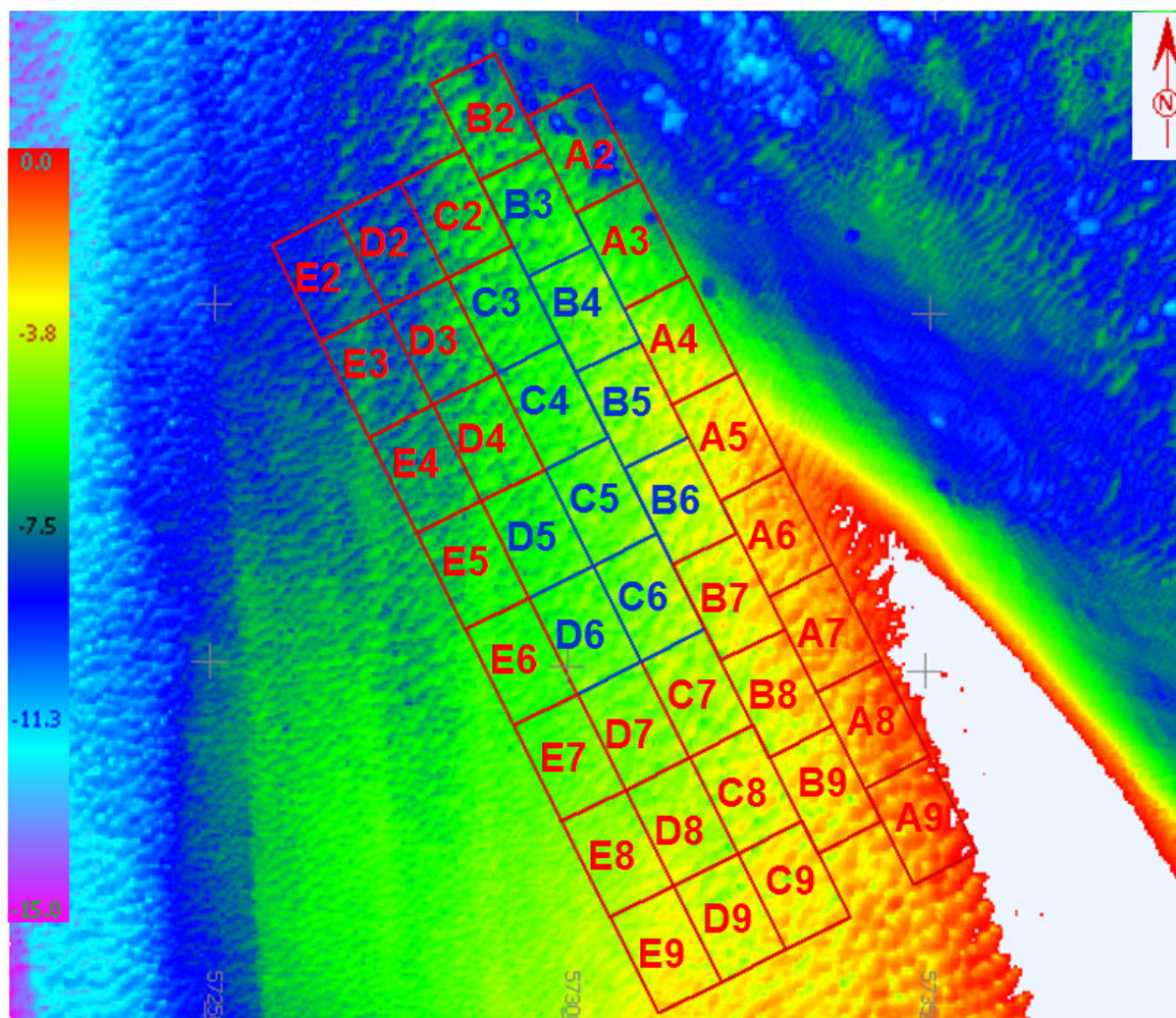
Verticale schaal: m verschil

8.2.2 Analyse op basis van volumeverandering

Om het transport van het gestorte materiaal te bepalen, wordt het stortgebied (samen met het omliggende invloedsgebied) onderverdeeld in een rekenrooster. Om de interpretatie van de volumeberekeningen van dit rooster te vergemakkelijken, is het belangrijk dat het rooster wordt georiënteerd volgens de richting van het sedimenttransport. Op die manier zal de uitwisseling van sediment tussen de roostercellen gereduceerd worden tot een ééndimensionaal fenomeen (enkel uitwisseling tussen de roostercellen volgens de langsrichting, niet volgens de dwarsrichting). Dit is een belangrijke hypothese waarop de zandbalans zal steunen.

8.2.2.1 Oriëntatie rekenrooster

Voor de uitvoering van de proefstorting, werd het stortgebied door de baggeraar reeds onderverdeeld in een rooster van 10 cellen. Dit rooster is in feite een onderverdeling van het uit de haalbaarheidsstudie voorgestelde stortgebied in vakken van 100 x 150 m. Per roostercel zijn de gestorte beunslagen en het moment van storten gekend.

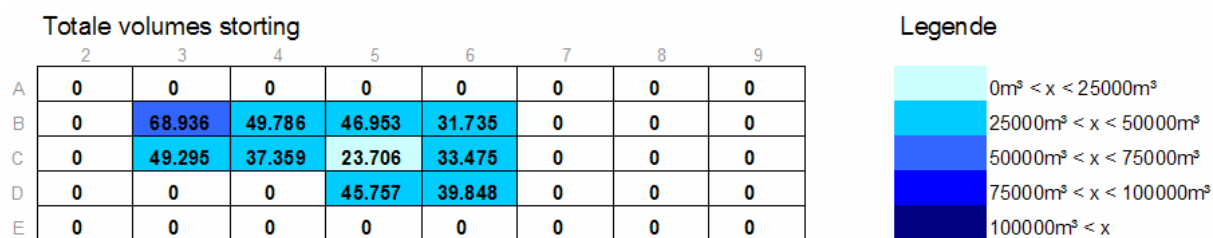


Figuur 19 : Rekenvakken zone stortproef
Stortvakken: blauw, invloedsvakken: rood

Als oriëntatie voor het rekenrooster werd gekozen om het bestaande stortrooster uit te breiden in het invloedsgebied van de storting. Het also gebruikte rekenrooster wordt gegeven in Figuur 19. In paragraaf 8.2.2.5 zal blijken dat de bodemvormen in deze zone een licht afwijkende oriëntatie hebben, doch dat de aanname van ééndimensionaal transport doorheen het rooster nog gerechtvaardigd is. Hierbij wordt verondersteld dat de voortplantingsrichting van de bodemvormen – en dus de richting van het bodemtransport – loodrecht op de kruin gebeurt. Deze hypothese is in het algemeen geldig; uitzonderingen worden veroorzaakt door de invloed van sterke dwarsshellingsen, harde lagen of hydraulische structuren [16].

8.2.2.2 Ruimtelijke verdeling ingrepen

Van 17 november 2004 tot 20 december 2004 werd in totaal 426.850 m³ (in situ volume) baggerspecie gestort ter hoogte van de zeewaartse tip van de plaat van Walsoorden. Deze hoeveelheid werd verdeeld over 10 stortvakken. In Figuur 20 wordt de ruimtelijke verdeling van de storthoeveelheden gegeven. Ondanks het feit dat het rekenrooster bijna volledig in het vergunde stortgebied “Schaar van Waarde” ligt, werd er in het rekenrooster gedurende de studieperiode (beëindiging uitvoering proefstorting 2004 - december 2005) geen onderhoudsbaggerspecie gestort.



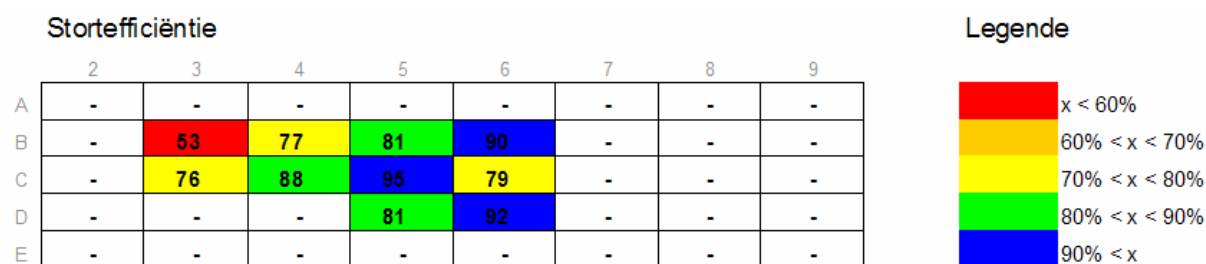
Figuur 20 : Ruimtelijke verdeling stortingen Walsoorden

De noordoostelijke rekenvakken (A1-A3, B1-B2) liggen deels in het vergunde zandwingebied Va. Toch zal zandwinning niet worden meegenomen. Met Rijkswaterstaat Zeeland werd immers afgesproken dat er tijdens de uitvoering en de monitoring volgend op de stortproef geen zandwinning zou worden uitgevoerd in het invloedsgebied. Op basis van de multibeam opnames is inderdaad te zien dat er in de gekozen rekenvakken geen of slechts een beperkte hoeveelheid zand wordt gewonnen. Waar dit effect zichtbaar wordt in de volumeberekeningen, zal dit worden aangehaald.

8.2.2.3 Efficiëntie storttechniek

Voor het pilootproject te Walsoorden werd de opgebaggerde specie aangebracht met een sproeiponton uitgerust met een sproeikop. Voordeel van deze storttechniek ten opzichte van het traditionele kleppen is dat de baggerspecie precies op de bodem kan worden aangebracht. Aangezien de sproeikop op een hoogte van 1.0 à 2.0 m boven de bodem wordt gepositioneerd, wordt uitspoeling van de fijne sedimentfractie bovendien verminderd. Op basis van de stortingen uitgevoerd in het kader van het pilootproject van Walsoorden, werd de efficiëntie van het storten bepaald. De resultaten worden grafisch voorgesteld in Figuur 21. Het volume uit de peilingen werd bepaald door het verschil te maken tussen de bathymetrische opmeting juist na en juist voor de storting. In de stortvakken B3, B4, C5 en C6 werd niet continu gestort. Bijgevolg is de efficiëntie in deze rekenvakken mogelijk beïnvloed door het tijdsinterval tussen de stortingen.

Op basis van deze analyse wordt een gemiddelde stortefficiëntie van 81 % berekend. Wanneer stortvakken B3, B4, C5 en C6 (niet-continue storting) buiten beschouwing worden gelaten, wordt zelfs een stortefficiëntie van 85 % berekend. Hierbij dient volgende kritische bemerking te worden gemaakt: uit de volumeberekeningen is gebleken dat een beperkte hoeveelheid baggerspecie mogelijk naast de stortvakken werd gestort. Anderzijds is er tussen het einde van de storting en de multibeam opmeting een tijdspanne van enkele dagen, gedurende dewelke reeds beperkte zandtransporten kunnen hebben plaatsgevonden. Beide effecten kunnen ertoe bijdragen dat de werkelijke stortefficiëntie mogelijk nog iets hoger ligt.



Figuur 21 : Ruimtelijke verdeling stortefficiëntie

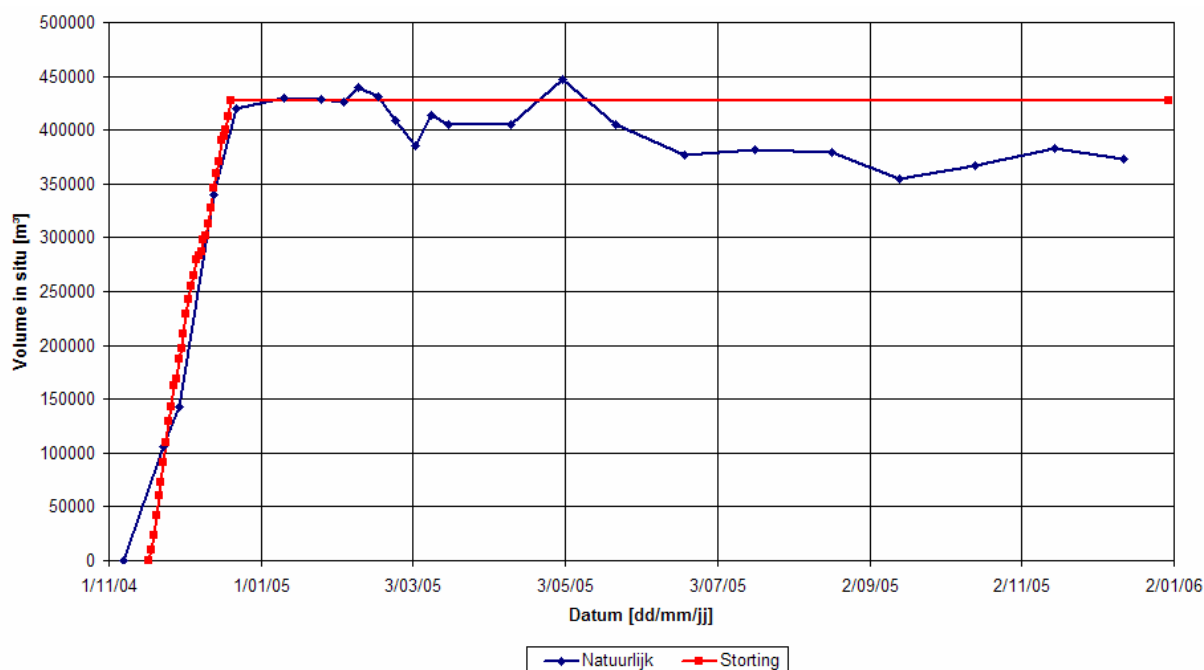
8.2.2.4 Volumeberekeningen

Per rekenvak wordt een balans gemaakt van ingrepen en natuurlijke evoluties: enerzijds worden de gestorte hoeveelheden in functie van de tijd uitgezet, anderzijds de op basis van de multibeam geregistreerde erosie of sedimentatie ten opzichte van de initiële opmeting. Dit resulteert in een volumebalans per rekenvak.

In dynamische systemen zullen er steeds sedimentbewegingen zijn. Onder invloed van getijdenstromingen zullen deze bewegingen resulteren in een netto-transport: eb- of vloeddominantie.

In Figuur 22 wordt de volumebalans uitgezet voor alle rekenvakken (van A2 tot E9). Op deze figuur is te zien dat de stortproef op een korte tijd werd uitgevoerd. De totale hoeveelheid gestorte specie is

juist na de storting volledig terug te vinden in het rekenrooster. Na 2 maanden lijkt zich zelfs een beperkte stijging van het volume binnen het rekenrooster voor te doen. Uiteindelijk neemt het volume binnen het studiegebied geleidelijk aan af. Eén jaar na beëindiging van de stortproef is er ongeveer 54.000 m^3 – dit is 12.5 % van de initiële storthoeveelheid – buiten het rekenrooster getransporteerd.



Figuur 22 : Volumebalans gecumuleerd voor alle rekenvakken

In Figuren A.133 t.e.m. A.152 worden de volumeberekeningen voor alle individuele rekenvakken gegeven. Uit deze grafieken is te zien dat in de stortvakken meestal een volume is terug te vinden kleiner dan het gestorte volume. In de meest afwaartse stortvakken (B3, C3 en D5) komt het maximale volume voor juist na beëindiging van de storting, in de meer opwaarts gelegen stortvakken blijft dit volume na beëindiging van de stortproef de eerste maanden constant of neemt zelfs beperkt toe.

Naast de stortvakken, volgt een bespreking van de rekenvakken gelegen aanliggend aan de stortvakken. In de opwaartse rekenvakken (A2, B2, C2, D3 en D4) wordt een beperkte stijging van het volume geregistreerd juist na beëindiging van de stortproef. Deze stijging neemt in de loop van de tijd geleidelijk af en één jaar na beëindiging van de stortproef is in deze rekenvakken het oorspronkelijke volume opnieuw bereikt. Hoewel deze stijging te wijten zou kunnen zijn aan het transport van sediment in de afwaartse richting, is het vermoeden dat het hier vooral het storten aan de rand van of juist over de rand van stortvakken betreft.

In de afwaartse rekenvakken is er quasi geen effect op de volumebalans onmiddellijk na het uitvoeren van de stortproef. In de loop van de tijd echter is er in deze vakken een stijging van het zandvolume waar te nemen. Opvallend is dat hoe meer opwaarts de rekenvakken gelegen zijn, des te later deze stijging zich inzet. Dit wijst op een geleidelijk transport van de gestorte baggerspecie in de opwaartse richting. Gezien het eerder geleidelijk verplaatsen van het gestorte zand in de tijd, is het vermoeden dat voornamelijk bodemtransport verantwoordelijk is voor deze morfologische wijzigingen.

In de A-vakken en de E-vakken werd geen storting uitgevoerd. In de E-vakken is quasi geen effect merkbaar van de stortproef, in de A-vakken echter wel. Het effect is het eerste merkbaar op de volumebalans in de rekenvakken liggend naast de stortvakken (A2 en A3). Hoe meer opwaarts de rekenvakken, des te later het effect van de stortproef zich laat voelen. Deze vaststelling wijst erop dat het zandtransport niet helemaal dezelfde oriëntatie heeft als het rekenrooster. Mogelijk speelt het storten van sediment over de grens van de vakken B2 en B3 – stortvakken grenzend aan rekenvakken A2 en A3, zie paragraaf 8.2.2.3 – hier eveneens een rol.

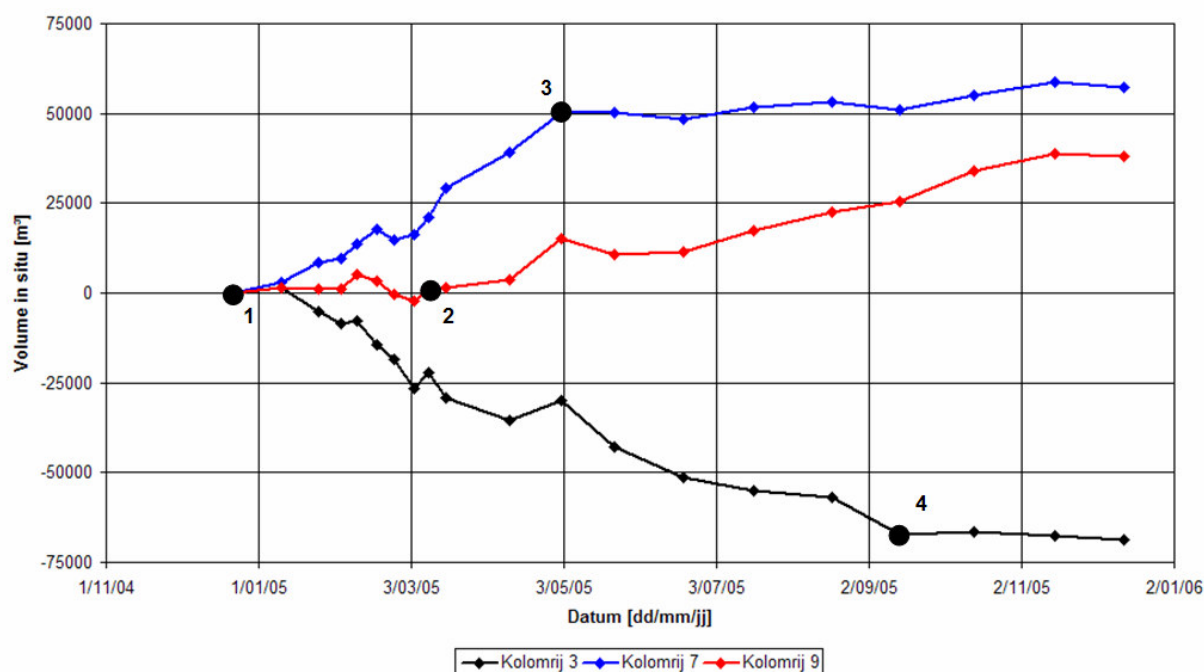
Daar de trend van de volumebalans voor de verschillende rijen gelijkaardig is – erosie afwaarts, onmiddellijke toename midden, latere toename opwaarts – wordt geopteerd een analyse uit te voeren op de volumebalans van de kolommen. In Figuur 23 wordt de gecumuleerde volumebalans van 3 ko-

lommen voorgesteld. De volumebalans voor alle individuele kolommen is terug te vinden in Figuren A.153 t.e.m. A.156. Deze volumebalans werd gerefereerd ten opzichte van het einde van de stortproef (multibeam opmeting T4); dit in tegenstelling tot de volumebalans van de rijen.

Uit deze figuren is te zien dat er quasi onmiddellijk na de storting sediment wordt getransporteerd uit de kolommen waarin werd gestort. Uitzondering is kolom 6, gelegen op de opwaartse rand van de stortzone, waar in eerste instantie een import (ten gevolge van verhoogde toevoer uit de afwaartse rekenvakken) wordt waargenomen, gevolgd door een export (ten gevolge van de verplaatsing van het gestorte materiaal uit deze kolom).

In de kolommen opwaarts de stortzone (kolommen 7,8 en 9) vindt sedimentimport plaats. Hoe dichter de kolommen zich bij de stortzone bevinden, hoe sneller de import in de betreffende kolom optreedt. In de meest afwaartse kolom wordt beperkte export waargenomen wegens het verdwijnen van materiaal dat bij het storten in deze kolom was terechtgekomen.

Opmerkelijk bij deze figuur is de vaststelling dat de sedimentimport en -export algemeen gesproken met 2 snelheden gebeurt. In een eerste fase gebeuren de morfologische wijzigingen relatief snel: het systeem reageert relatief hevig op de verstoring. Vervolgens is er in de volumebalans een knik terug te vinden (aangeduid met een zwart punt op Figuur 23), waarna de volumeveranderingen opmerkelijk trager verlopen.



Figuur 23 : Volumebalans per kolom

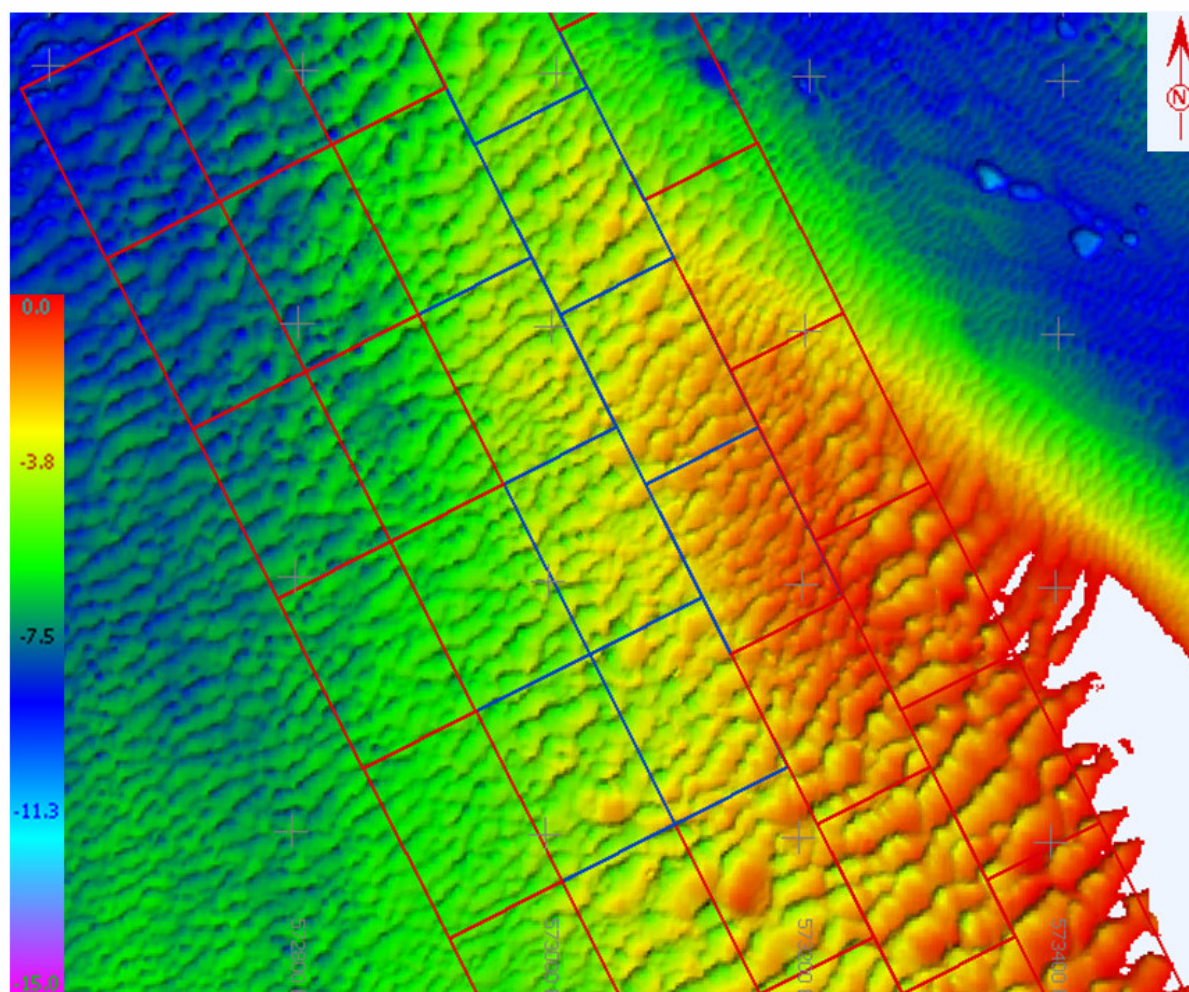
Uit de analyse van de volumebalans per kolom volgt dat het gestorte materiaal naar opwaarts, naar de plaat toe wordt getransporteerd. In eerste instantie gebeurt deze verplaatsing van sediment relatief snel, vervolgens verschuift het zwaartepunt van het transport naar opwaarts en gebeurt de verplaatsing eveneens trager.

8.2.2.5 Zandbalans

In deze paragraaf zal een zandbalans worden opgesteld voor het rekenrooster. Dit gebeurt op basis van de stortgegevens en de opgemeten bathymetrische veranderingen in de rekenvakken. Om de zandbalans te kunnen oplossen, zal verondersteld worden dat het sedimenttransport een ééndimensionaal proces is: het transport van zand kan enkel gebeuren volgens de rijen, niet over de grenzen van de verschillende rijen. In werkelijkheid echter is uit de volumeberekeningen vastgesteld dat deze hypothese niet helemaal gegrond is. In rij A was immers een duidelijke invloed van de stortingen terug te vinden.

In Figuur 24 wordt een multibeam opmeting van december 2005 – een jaar na het beëindigen van de stortproef – getoond. Op deze figuur zijn de individuele duinen duidelijk te onderscheiden. Wanneer

de oriëntatie van de duinkruinen wordt vergeleken met de oriëntatie van het rekenrooster, blijkt dat er een kleine afwijking tussen beiden is terug te vinden. In de veronderstelling dat het sedimenttransport gebeurt in de richting loodrecht op de kruinlijn van de duinen [16] is dit transport meer oostelijker gericht.



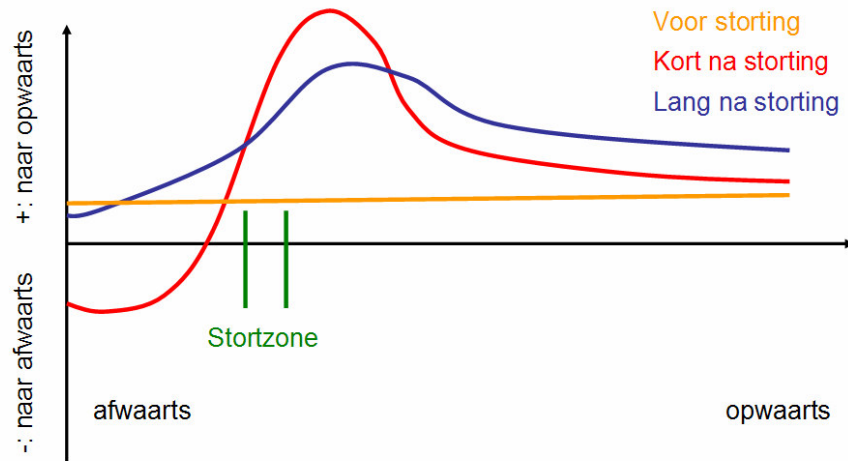
Figuur 24 : Evolutie stortproef Walsoorden

Verticale schaal: m GLLWS

Ondanks deze vaststellingen wordt toch gekozen om het rekenrooster zoals voorgesteld in Figuur 19 te hanteren. Enerzijds is de afwijking tussen de richting van de duinen en het rekenrooster beperkt, anderzijds sluit dit rooster perfect aan bij de gebruikte stortvakken, waardoor geen veronderstellingen betreffende de stortintensiteit binnen de stortvakken moeten gemaakt worden.

In Figuur 25 wordt een denkmodel geformuleerd om de te verwachten invloed van een menselijke ingreep op de zandbalans weer te geven. In deze figuur wordt de situatie voor een vloedgedomineerde geul getoond: het transport gebeurt van afwaarts naar opwaarts. Initieel wordt het sedimenttransport bovendien uniform in de ruimte verondersteld (gele lijn) wat in werkelijkheid vermoedelijk niet het geval is.

Terwijl de storting in de opwaartse richting voor een verhoging van het sedimenttransport zorgt, zal er een daling plaatsvinden in de afwaartse richting. In het meest extreme geval kan de richting van het sedimenttransport ten gevolge van de storting hier zelfs wijzigen: eb- in plaats van vloedgedomineerd. In de loop van de tijd wordt het effect van de storting op het sedimenttransport lokaal minder uitgesproken, terwijl het zich in de ruimte verder voortplant.



Figuur 25 : Schematische evolutie zandbalans in de tijd

Op Figuur A.157 wordt de zandbalans voor de rekenvakken uitgezet voor een periode van 12 maanden na uitvoering van de stortproef. Figuren A.158 en A.159 geven de zandbalans voor respectievelijk de eerste 6 maanden en de laatste 6 maanden van deze zelfde periode. De bovenste figuur betreft telkens een overzicht van de opgemeten dagelijkse erosie en sedimentatie hoeveelheden in de betreffende periode, de onderste figuur is een visuele voorstelling van de zandbalans. In deze zandbalans wordt de sedimentuitwisseling tussen de opeenvolgende vakken voor de 5 rekenrijen uitgezet. Aan de afwaartse rand werd een sedimenttransport van 1.19 m^3 per getij per eenheidsbreedte – ofwel een transport van 178 m^3 per dag per rekenvak – opgelegd. Dit transport werd op basis van een natuurmeting berekend, terug te vinden in bijlage E. Deze waarde zal ten gevolge van de stortingen mogelijk verhogen, zoals aangeduid op Figuur 25.

Voor de rijen B, C en D wordt teruggevonden wat werd geschetst in Figuur 25: opwaarts de storting een stijging van het sedimenttransport, afwaarts de storting een beperkte daling. Het effect van de storting op het sedimenttransport is veranderlijk in de tijd: waar het de eerste 6 maanden na de storting eerder lokaal is en zeer uitgesproken, is het effect het tweede half jaar na de storting meer uitgestrekt in de ruimte, doch minder uitgesproken. Dit is duidelijk zichtbaar bij het sedimenttransport tussen kolom 8 en 9, waar het eerste half jaar quasi geen effect ten gevolge van de storting optreedt. Het verschil tussen de transportcurven van rijen B en C vergeleken met D is te verklaren door een andere ligging van het zwaartepunt van de stortactiviteiten.

Voor rij A wordt een zandbalans uitgerekend die te verklaren is door een storting in rekenvakken A2 en A3. Analyse van de volumeberekeningen voor deze rekenvakken (zie Figuur A.133) leert inderdaad dat er in deze vakken juist na beëindiging van de stortproef een extra volume zand wordt teruggevonden van respectievelijk 13.000 m^3 en 15.000 m^3 . Vermoedelijk is dit te wijten aan het feit dat er over de grens van stortvakken B3 en B4 werd gestort. Deze hypothese wordt gestaafd door het feit dat er in deze stortvakken na beëindiging van de stortproef een relatief lage stortefficiëntie wordt uitgerekend (respectievelijk 53 % en 77 % ten opzichte van een gemiddelde efficiëntie van de sproeikop van 81 %).

Voor rij E vertoont de zandbalans de eerste 6 maanden na de storting een beperkte daling van het transport in de afwaartse richting, terwijl er in de volgende 6 maanden een beperkte stijging wordt vastgesteld. Geïntegreerd over 12 maanden geeft dit een quasi uniform zandtransport over deze rij. Tot slot wordt hierbij opgemerkt dat het hier beschreven effect op rij E zeer beperkt is in vergelijking met de andere rijen.

8.2.2.6 Erosiesnelheid storting

Uit de volumebalans van de stortvakken kan informatie gehaald worden over de snelheid waarmee de gestorte specie zich verplaatst. In Figuur 26 wordt de volumebalans gecumuleerd voor alle stortvakken weergegeven in het groen. Op deze figuur wordt eveneens de volumebalans voor de opwaarts gelegen stortvakken (B5, B6, C5, C6, D5 en D6; rood) en de afwaarts gelegen stortvakken (B3, B4, C3 en C4; blauw) getoond. Opmerkelijk hierbij is de vaststelling dat de erosiesnelheid van de storting

vanaf 3 maanden na uitvoering dezelfde is voor het opwaartse en het afwaartse gedeelte van de storting. Op de figuur wordt de referentiesituatie (opname 22/12/2004, juist na beëindiging stortproef) met een zwarte stippellijn aangeduid. De groene verticale lijnen bakenen tijdszones af waarbinnen de erosie van de storting min of meer met een constante snelheid gebeurt.



Figuur 26 : Volumebalans per eenheidsoppervlak van de stortvakken

In Tabel 7 wordt de erosiesnelheid voor de volledige stortzone gegeven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de tijdszones die op Figuur 26 werden aangeduid. De erosiesnelheid wordt berekend als de hoeveelheid sediment die per maand erodeert uit de stortzone, uitgedrukt als een uniforme verdieping van de bathymetrie.

De eerste maand na de stortproef is er een beperkte toename van het volume binnen de stortzone. Doch deze toename is zeer beperkt (1.6 cm/maand) en uit zich vooral in het opwaarts gedeelte van de stortzone. Na de eerste maand wordt erosie waargenomen: beperkt tot 5.0 cm/maand gedurende de tweede maand na de storting, zeer uitgesproken (25.0 cm/maand) tijdens de derde maand. Vanaf de vierde maand neemt de erosie geleidelijk aan af, om tijdens het laatste kwartaal een waarde van 2.7 cm/maand te bereiken. Ter illustratie: gedurende de stortperiode werd een sedimentatiesnelheid van 156.0 cm/maand berekend.

Tijd na storting (maanden)	Toename bodempeil tov referentie T0 (m)	Sedimentatie / erosie snelheid (cm/maand)
0	+ 2.34	
		+ 1.6
1	+ 2.35	
		- 5.0
2	+ 2.30	
		- 25.0
3	+ 2.00	
		- 15.2
6	+ 1.52	
		- 8.7
9	+ 1.27	
		- 2.7
12	+ 1.19	

Tabel 7 : Sedimentatie / erosiesnelheid proefstorting Walsoorden

8.3 Besluiten

Eind 2004 werd een stortproef van 500.000 m³ baggerspecie uitgevoerd ter hoogte van de zeewaartse tip van de plaat van Walsoorden. Voor deze in situ stortproef werd gebruik gemaakt van een sproei-ponton uitgerust met een sproeikop. Op die manier kon de specie zeer nauwkeurig op de bodem worden aangebracht, en vormde de beperkte diepgang ter hoogte van de stortlocatie eveneens geen probleem. De bathymetrie werd ter hoogte van de stortzone met gemiddeld 2.5 m opgehoogd.

Uit multibeam opmetingen die werden uitgevoerd in het kader van dit project, blijkt dat de specie zich geleidelijk verplaatst onder invloed van de vloedstroming. De vloeddominantie van het transport wordt tevens bevestigd door de voortplantingsrichting van de duinen die ontstaan op de gestorte specie. Dit vloeddominante transport was te verwachten gezien uit het haalbaarheidsonderzoek (natuurmeting, fysisch en numeriek model) is gebleken dat de stroming ter hoogte van de stortlocatie vloedgedomineerd is [10]. Ongeveer 12 maanden na beëindiging van de stortproef heeft de specie aansluiting gevonden bij de noordelijke zandtong, waardoor het ondiepwatergebied ter hoogte van deze locatie werd uitgebreid.

Aan de hand van een rekenrooster werd de volumebalans van het invloedsgebied van de storting opgesteld. Deze volumeberekeningen bevestigen het vloedgedomineerde transport van de gestorte specie. In de afwaartse richting wordt juist na beëindiging van de storting een beperkte volumetoename waargenomen, maar vermoedelijk is deze toename te wijten aan het storten over de grenzen van de stortvakken. Transport van baggerspecie richting drempel van Hansweert onder invloed van de ebstroming is dus niet aanwezig. In de vloedrichting wordt waargenomen dat de invloedszone zich geleidelijk uitstrekt in de loop van de tijd: het effect op de rekenvakken grenzend aan de stortzone is quasi onmiddellijk zichtbaar, terwijl dit effect op de rekenvakken die het verst verwijderd zijn van de stortzone zich pas later laat gevoelen. Wegens het eerder lokaal voortschrijden van de stortspecie in de tijd, is vermoedelijk bodemtransport verantwoordelijk voor deze morfologische veranderingen.

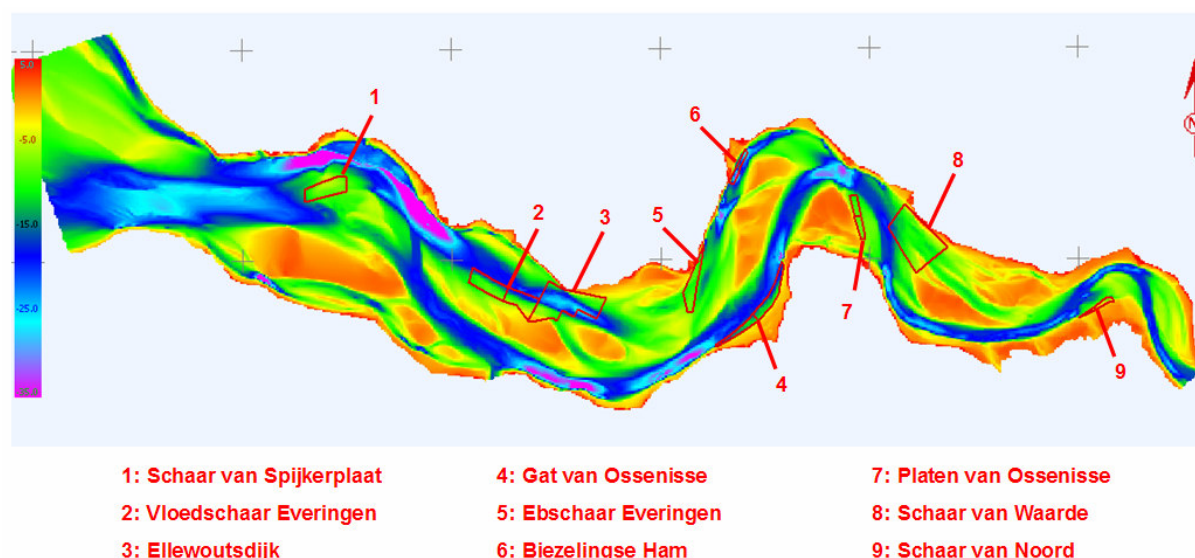
Wat de erosiesnelheid van de storting betreft, kunnen 3 fasen onderscheiden worden. Tijdens de eerste maand na de proefstorting, wordt er quasi geen volumeverandering waargenomen. De volumeberekeningen wijzen eerder op een beperkte sedimentatie dan op een erosie. Vervolgens neemt het volume in de stortzone af, om tussen de tweede en de derde maand een maximum erosie van circa 25.0 cm/maand te bereiken. Geleidelijk aan vermindert de volumeafname tot 2.7 cm/maand tussen de negende en de twaalfde maand na de storting. De eerste 3 maanden na de storting is er een duidelijk verschil tussen de opwaartse en de afwaartse vakken van de stortzone. Echter vanaf de vierde maand is de erosiesnelheid uniform over de hele stortzone.

Uitgaande van de zandbalans werd het lokale sedimenttransport ter hoogte van de stortzone bestudeerd. Hieruit wordt bevestigd wat bij de volumeberekeningen werd teruggevonden: de storting initieert lokaal een groot effect op korte termijn, terwijl het effect op langere termijn afneemt qua grootte maar toeneemt wat betreft ruimtelijke schaal. Het sedimenttransport dat op deze locatie vloedgedomineerd is, blijft deze vloeddominantie ook steeds behouden tijdens en na de storting.

9 DYNAMIEK STORTINGEN SCHAAR VAN WAARDE

9.1 Baggeren en storten in het Schelde-estuarium

Om de toegankelijkheid van de Scheldehavens te garanderen, worden de drempels die zich op de vaarroute bevinden door baggerwerken op de gewenste diepte gehouden. Omwille van beperkte netto sedimentuitwisseling tussen de Westerschelde en het mondingsgebied, wordt het gebaggerde materiaal in het estuarium zelf teruggestort. De stortzones in het estuarium worden per vergunning (WVO voor baggeren en storten in het Schelde-estuarium) vastgelegd. Op Figuur 27 worden de stortvakken in de Westerschelde volgens de huidige WVO vergunning aangeduid. Zoals te zien is op deze figuur, bevinden de stortlocaties zich hoofdzakelijk in de nevengeulen. Storten in de nevengeul heeft immers het voordeel ten opzichte van storten in de hoofdgeul dat de baggerspecie een langere tijd nodig heeft om opnieuw de drempel te bereiken. De stortvolumes per nevengeul worden beperkt zodat verzanding van deze geul niet optreedt. Immers behoud van het meergeulensysteem is één van de pijlers uit het streefbeeld voor het Schelde-estuarium opgesteld in de LTV.



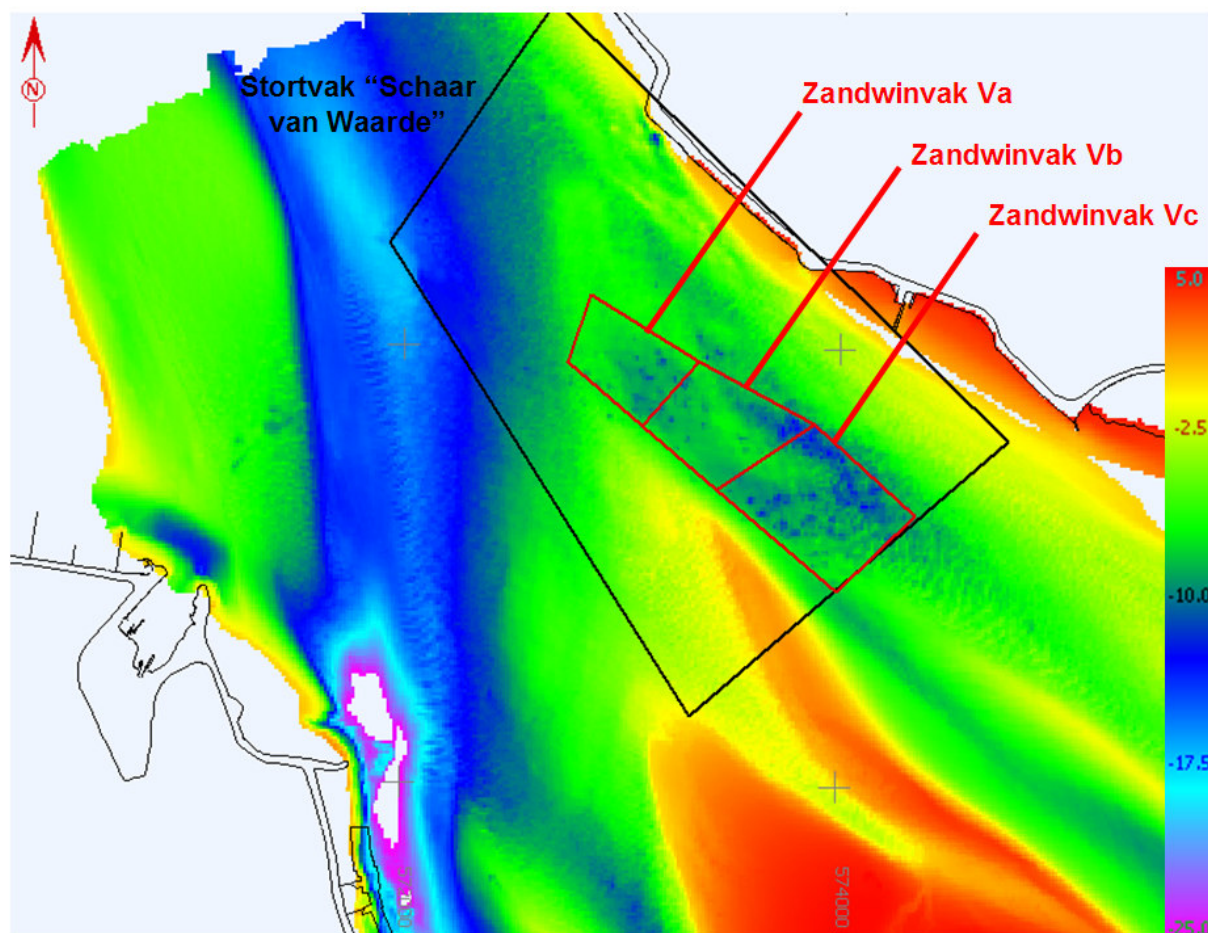
Figuur 27 : Overzicht stortvakken Westerschelde

Verticale schaal: m GLLWS

Tot nu toe wordt aangenomen dat het in de nevengeulen gestorte materiaal door de stroming wordt getransporteerd om uiteindelijk terug te sedimenteren op de dichtstbijzijnde drempel. Een drempel is immers een locatie in het estuarium waar sediment omwille van de morfologie van de rivier van nature naartoe getransporteerd zal worden. Het baggeren en storten om de vaargeul op diepte te houden is in deze visie het onderhouden van een continu proces waarbij het sediment door de rivier van de stortlocatie naar de baggerlocatie zal worden getransporteerd. De hypothese van de recirculatie van gestorte specie zal in dit hoofdstuk bestudeerd worden.

9.2 Stortingen in Schaar van Waarde

Het stortvak "Schaar van Waarde" is qua oppervlakte het grootste stortvak in de Westerschelde. Jaarlijks mag er in dit vak volgens de WVO vergunning 1.000.000 m³ baggerspecie worden gestort. Deze hoeveelheid is bepaald op basis van het cellenconcept, waarbij kantelen van het meergeulensysteem wordt bestudeerd [13].



Figuur 28 : Stortlocatie "Schaar van Waarde" (zwart) & zandwinkvak V (rood)

Verticale schaal: m GLLWS

Op Figuur A.160 worden de gestorte hoeveelheden in functie van de tijd voorgesteld voor de periode juli 2004-januari 2006. Het betreft in situ hoeveelheden, waarbij een densiteit van 2.0 ton/m³ wordt verondersteld. Deze figuur is gebaseerd op de wekelijkse data bekomen uit BIS van afdeling Maritieme Toegang.

Tussen juli 2004 en oktober 2004 werden geen stortingen uitgevoerd in de Schaar van Waarde. Vanaf half november 2004 tot half maart 2005 werd wekelijks gemiddeld circa 45.000 m³ gestort, de stortingen ten behoeve van de proefstorting (cfr. hoofdstuk 8) niet meegerekend. De gestorte hoeveelheden kunnen echter aanzienlijk verschillen van week tot week. Vanaf half maart 2005 werden geen stortingen meer uitgevoerd in deze nevengeul, met uitzondering van 3 weken in mei 2005 gedurende dewelke een aanzienlijke hoeveelheid baggerspecie werd gestort, en 1 week half september 2005 wanneer eenmalig circa 80.000 m³ werd gestort.

Samenvattend kan betreffende de gestorte volumes het volgende worden opgemerkt: in de tweede helft van 2004 werd ongeveer 210.000 m³ baggerspecie in de Schaar van Waarde gestort, in 2005 betrof dit 880.000 m³. Het zwaartepunt van de stortactiviteiten is voor beide jaren in de eerste helft van het jaar gesitueerd.

9.3 Zandwinning in Schaar van Waarde

In de stortzone "Schaar van Waarde" wordt eveneens zand uit het estuarium onttrokken. In deze stortzone zijn 3 zandwinkvakken gesitueerd zoals bepaald in de zandwinvergunning voor het Schelde-estuarium, weergegeven op Figuur 28. Op Figuur A.161 worden de gewonnen hoeveelheden in functie van de tijd voorgesteld voor de 3 zandwinkvakken. Het betreft hier eveneens in situ volumes (densiteit 2.0 ton/m³). Gemiddeld wordt er per zandwinkvak circa 15.000 m³ zand per maand gewonnen. In tegenstelling tot het storten gebeurt de zandwinning quasi continu gedurende het hele jaar.

9.4 Onderzoek dynamiek gestorte specie

In het kader van het morfologische monitoringprogramma van de in situ stortproef bij de plaat van Walsoorden, werd een groot deel van het stortvak "Schaar van Waarde" regelmatig opgemeten met de multibeam techniek. Vanaf november 2004 tot januari 2006 zijn opmetingen van deze zone beschikbaar. Op basis van deze multibeam opmetingen kan het transport van de stortingen bestudeerd worden.

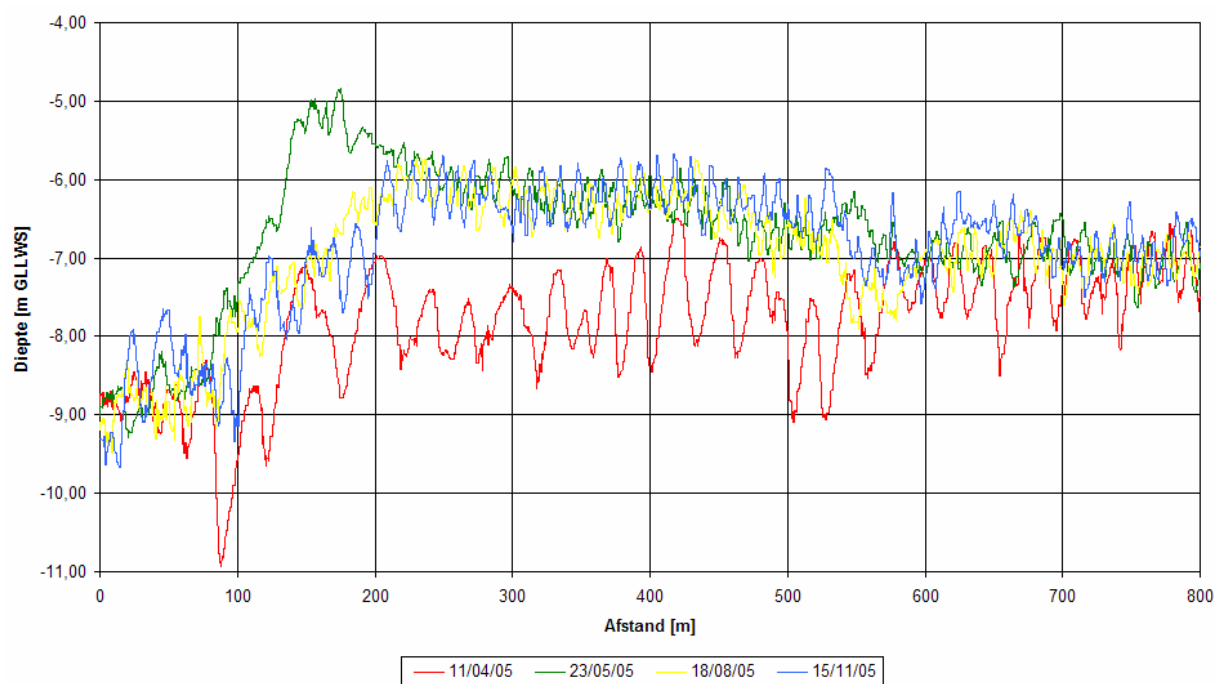
De dynamiek van de gestorte specie wordt onderzocht in 2 stappen. In een eerste stap zal de stortzone en het omliggende invloedsgebied worden onderverdeeld in een aantal rekenvakken, waarvoor de totale sediment volumeverandering berekend zal worden (cfr. werkwijze hoofdstuk 8). Analyse van de also berekende volumeveranderingen (en vertaling van deze volumeveranderingen naar een zandbalans) zal informatie geven over de initiële transportrichting van het gestorte sediment. Daar er bij de stortingen in de Schaar van Waarde geen concentratie is in ruimte noch in tijd, zal de analyse van de volumeberekeningen aanzienlijk moeilijker zijn vergeleken met de gecontroleerde stortproef uit hoofdstuk 8.

De hierboven vermelde techniek is echter niet toepasbaar op een uitgestrekt gebied, aangezien het getransporteerde sedimentvolume dan wordt uitgesmeerd over een grote oppervlakte, waardoor veranderingen in de bathymetrie nauwelijks detecteerbaar worden. Om toch informatie te bekomen over het transport van het sediment over een grote zone, zal in een tweede stap de voortplanting van de bodemvormen bestudeerd worden. Hiervoor zal het gebied worden onderverdeeld in enkele karakteristieke gebieden. Aan de hand van deze analyse zullen mogelijke transportpaden van het gestorte sediment worden bepaald.

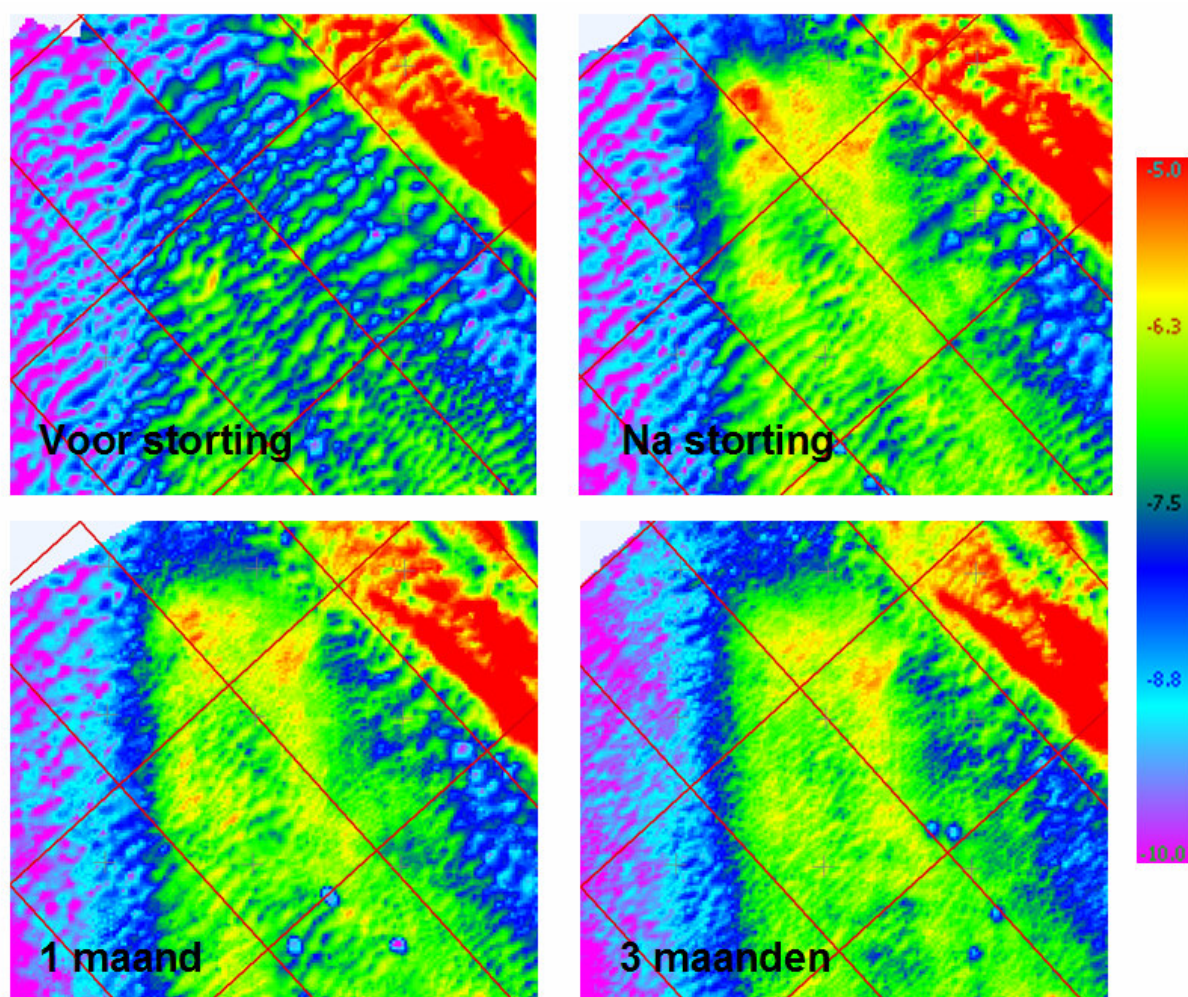
9.4.1 Analyse op basis van multibeam opmetingen

Gezien de stortingen in de Schaar van Waarde weinig geconcentreerd zijn in ruimte en tijd, is opvolging van de dynamiek van de stortspecie moeilijk. Echter tussen 24 april en 15 mei 2005 werd er op 3 weken tijd meer dan 300.000 m³ specie gestort, bovendien vrij geconcentreerd in de ruimte. De evolutie van deze stortingen zal hier op basis van de opmetingen bestudeerd worden.

In Figuur 29 wordt de evolutie van een langsraai doorheen de stortzone bestudeerd. Initieel zijn er op de stortlocatie duinen met een hoogte van 1.2 m aanwezig. Door de storting wordt de bodem met ongeveer 2.0 m verhoogd over een afstand van 500 m. Op de stortzone zijn juist na storting reeds beperkte bodemvormen terug te vinden. Vermoedelijk werden deze gevormd in de periode tussen het einde van de stortingen (15/05/05) en het tijdstip van de multibeam opname na storting (23/05/05). Anderzijds speelt de invloed van de storttechniek hierbij mogelijk een rol. Drie maanden na het einde van de storting is het afwaartse gedeelte van de stortzone sterk geërodeerd. Dit getransporteerde materiaal is niet terug te vinden in het langsprofiel. De bodemvormen zijn ondertussen ontwikkeld tot duinen met een grootte van 0.6 m. De situatie na 6 maanden vertoont weinig verschil met die na 3 maanden. Mogelijk speelt een nieuwe storting van 80.000 m³ in deze periode hierbij een rol. Uit de analyse van de bodemvormen ter hoogte van de stortzone volgt dat deze zich voortplanten in de opwaartse richting, onder invloed van de vloedstroming.



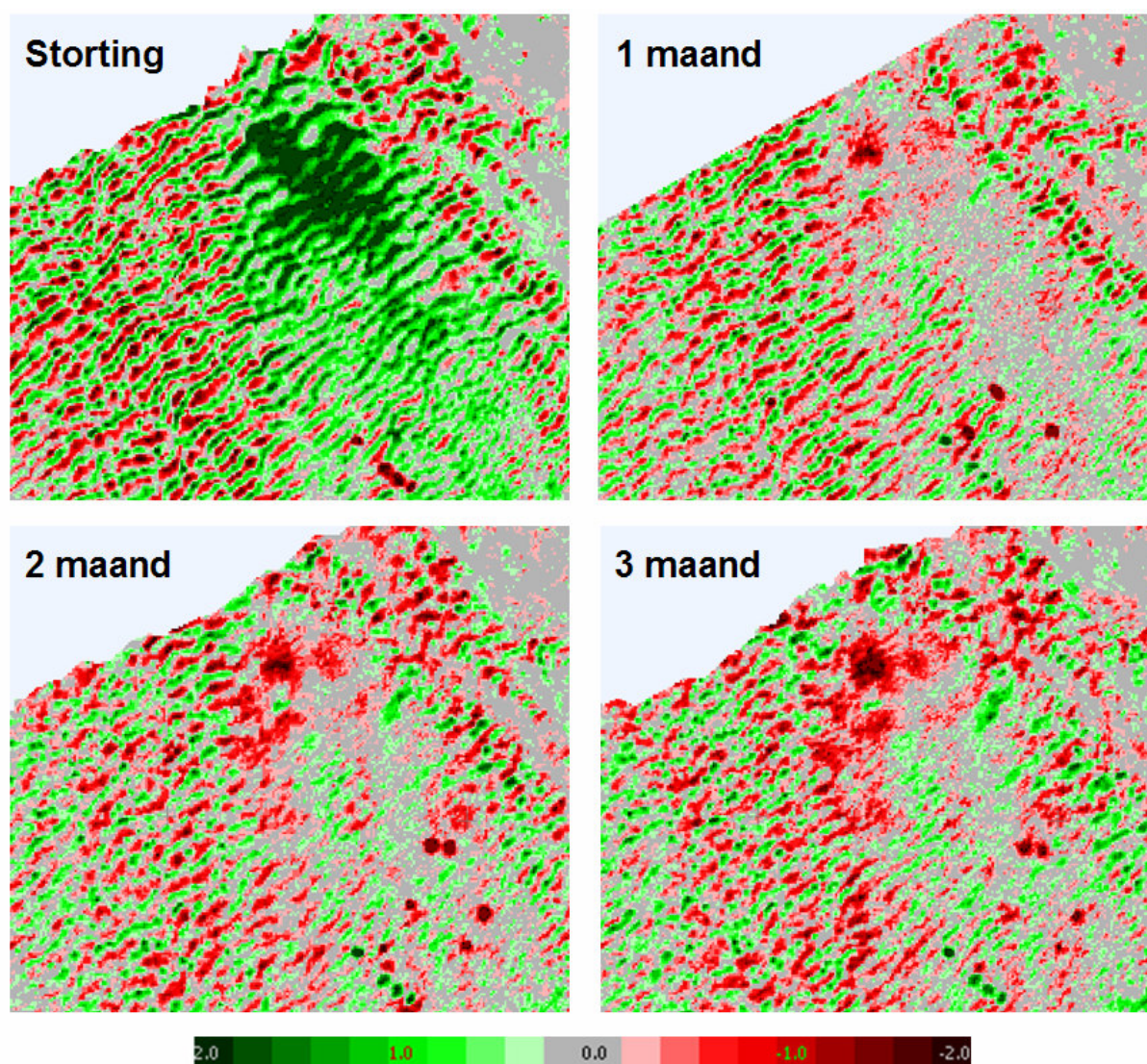
Figuur 29 : Evolutie profiel langsraai door stortzone



Figuur 30 : Evolutie stortingen Schaar van Waarde
Verticale schaal: m GLLWS

In Figuur 30 worden enkele multibeam opmetingen van de stortzone naast elkaar gelegd. De bovenste figuren tonen de stortzone juist voor en juist na het uitvoeren van de storting van 300.000 m³ baggerzand. Op de onderste figuren wordt dezelfde zone getoond respectievelijk 1 maand en 3 maanden na het einde van de stortingen. De grootste ondieptes aan de afwaartse zijde van de storting zijn dan geërodeerd, terwijl het materiaal zich naar opwaarts lijkt te bewegen. Wegens nieuwe stortingen in dezelfde zone, kon deze storting niet verder in de tijd worden opgevolgd.

De erosie-sedimentatie patronen van de stortzone worden gegeven in Figuur 31. De eerste figuur toont het uitvoeren van de stortingen, de 3 andere figuren tonen de situatie respectievelijk 1, 2 en 3 maanden na uitvoering van de stortingen. Uit deze figuren volgt dat er sterke erosie optreedt op de top van de stortingen (afwaartse zijde), terwijl de rest van de stortzone weinig verandering lijkt te ondergaan. Opmerkelijk is eveneens de grote dynamiek van de bodemvormen in de omgeving van de stortzone, waardoor de erosie en sedimentatie van de stortingen zelf niet hard opvallen. Dit wijst op een groot natuurlijk transport van zand in deze zone.



Figuur 31 : Erosie/sedimentatie stortingen Schaar van Waarde
Verticale schaal: m verschil

9.4.2 Analyse op basis van volumeverandering

Om de initiële transportrichting van het gestorte materiaal te bepalen, wordt het stortgebied (samen met het omliggende invloedsgebied) onderverdeeld in een aantal cellen. Net zoals in hoofdstuk 8 zal getracht worden om het rekenrooster te oriënteren volgens de richting van het sedimenttransport. Dit zal de interpretatie van de volumeberekeningen en de analyse van de zandbalans sterk vereenvoudi-

gen, aangezien de uitwisseling van sediment tussen de rekenvakken op die manier gereduceerd wordt tot een ééndimensionaal fenomeen (enkel uitwisseling tussen de rekenvakken volgens de langsrichting van het rooster).

9.4.2.1 Oriëntatie rekenrooster

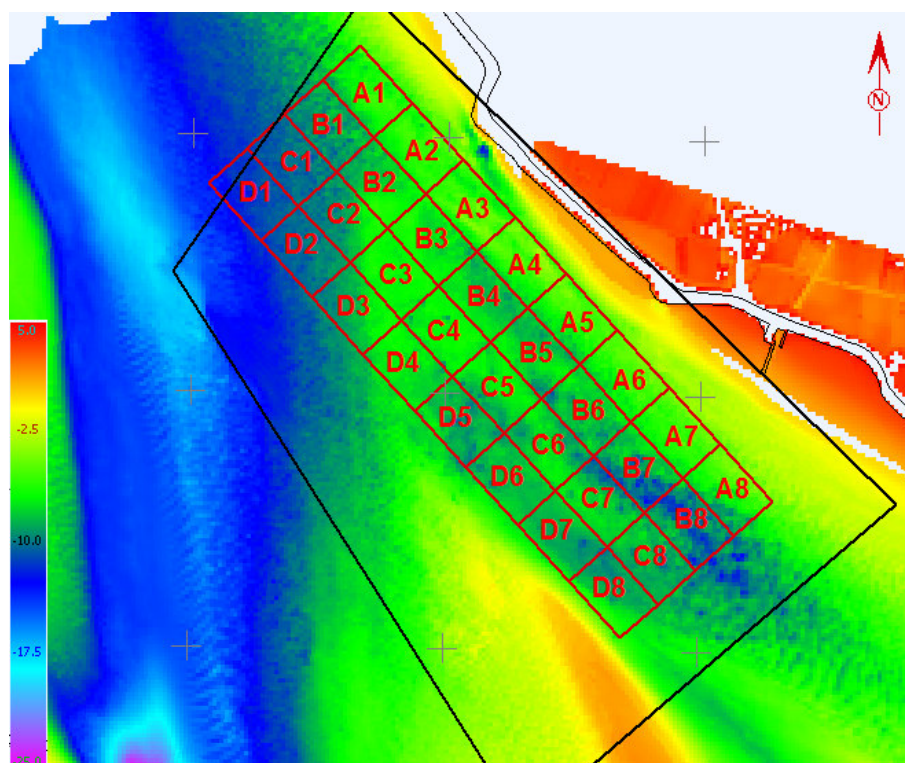
Om een eerste idee te krijgen van de richting van het sedimenttransport ter hoogte van de stortlocatie “Schaar van Waarde”, werd gebruik gemaakt van het driedimensionale hydrodynamische numerieke model gevalideerd tijdens de haalbaarheidsstudie van de stortstrategie bij Walsoorden [10]. Met dit Delft3D model werd de richting van de bodemsnelheid bij een springtij bestudeerd. Drie willekeurige punten in de stortzone werden geselecteerd: voor elk van deze punten werd de richting van de bodemstroming zowel tijdens de eb als tijdens de vloed bepaald. Algemeen gesproken zijn de vloodsnelheden in de Schaar van Waarde iets groter dan de ebsnelheden, terwijl de duur van de snelheidspiek tijdens de eb langer is dan tijdens de vloed.

	Richting EB (° tov N)	Richting VLOED (° tov N)
Punt 1	141.9	139.9
Punt 2	137.2	132.5
Punt 3	135.1	133.0
GEM	138.1	135.1

Tabel 8 : Richting bodemstroming stortvak “Schaar van Waarde”

Uit Tabel 8 volgt dat de gemiddelde richting van de bodemstroming voor het stortvak “Schaar van Waarde” tijdens de vloed 138.1° is, terwijl 135.1° tijdens de eb. Algemeen kan men dus stellen dat de pieksnelheden nabij de bodem een oriëntatie hebben van circa 136.6° ten opzichte van het geografische noorden.

Gezien het sedimenttransport vaak (maar niet noodzakelijk, [16]) dezelfde richting heeft als de bodemstroming, zal deze oriëntatie gebruikt worden voor de rekencellen. In Figuur 32 wordt het gekozen netwerk van rekenvakken gevisualiseerd. Deze rekenvakken (afmeting 200 x 250 m) hebben een oriëntatie van 136.6° ten opzichte van het geografische noorden.

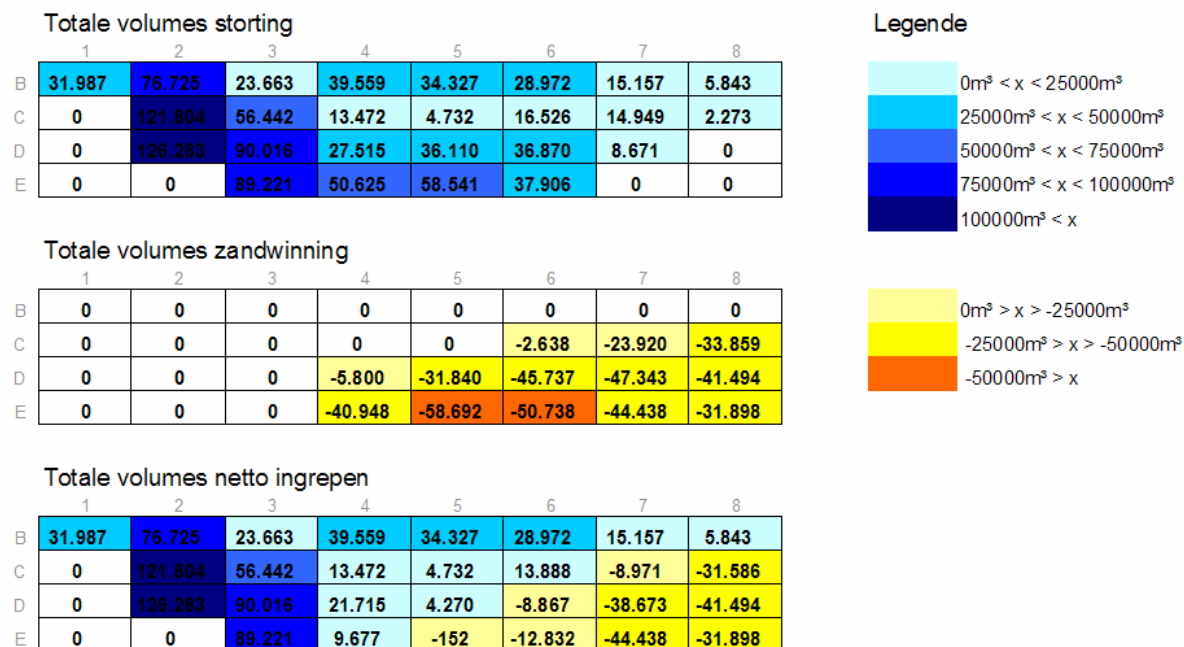


Figuur 32 : Rekenvakken stortvak Schaar van Waarde

Verticale schaal: m GLLWS

9.4.2.2 Ruimtelijke verdeling ingrepen

De dynamiek van de gestorte specie zal onderzocht worden tussen november 2004 en januari 2006. Gedurende deze periode werd een totaal in situ volume van ongeveer 1.090.000 m³ gestort in stortvak "Schaar van Waarde". Daarnaast werd eveneens circa 460.000 m³ zand uit ditzelfde stortvak gewonnen. In Figuur 33 wordt een overzicht gegeven van de ruimtelijke spreiding van deze ingrepen gedurende de ganse periode. Wegens gebrek aan intensiteiten werden de zandwinhoeeelheden uniform verdeeld over de vergunde vakken.



Figuur 33 : Ruimtelijke verdeling menselijke ingrepen "Schaar van Waarde"

Uit deze figuur blijkt dat de stortingen vooral in het westelijke deel van het stortvak gebeuren (kolommen 2 en 3), terwijl de zandwinning vooral in het zuidoostelijke deel geconcentreerd is. Het derde schematische rekenrooster geeft de netto ingrepen: dit zijn de storthoeveelheden verminderd met de zandwinvolumes.

9.4.2.3 Stortefficiëntie kleptechniek

Bij de proefstorting te Walsoorden werd een sproeikop gebruikt om de specie gecontroleerd aan te brengen in ondiepe zones. Bijkomend voordeel van deze techniek is dat de efficiëntie van het storten (gedefinieerd als volume op bodem stortvak ten opzichte van gestort volume) vrij hoog is, gezien er slechts een beperkte hoeveelheid sediment zal uitspoelen tijdens het storten. In hoofdstuk 8 werd voor deze techniek een stortefficiëntie van 85 % berekend.

In het stortvak "Schaar van Waarde" wordt de opgebaggerde specie gestort door middel van de traditionele kleptechniek. Door het openen van één of meerdere schuiven onder de beun van het baggerschip komt de specie in het stromende water terecht. Het merendeel bezinkt onmiddellijk op de bodem, een beperkt deel wordt echter door de stroming getransporteerd en zet zich elders af. Gezien de vereiste kielspeling onder het baggerschip, plus het feit dat het baggerschip tijdens het storten steeds minder diep komt te liggen, kan de afstand tussen de schuiven en de bodem soms oplopen tot meer dan 8 m. Het is bijgevolg te verwachten dat de efficiëntie van het storten door middel van kleppen kleiner dan 85 % zal zijn.

Op basis van de stortingen in de Schaar van Waarde zal een uitspraak worden gedaan over de efficiëntie van de traditionele kleptechniek. Voor 6 rekenvakken – waarin een relatief grote hoeveelheid baggerspecie op korte tijd werd gestort – werd de stortefficiëntie berekend. Deze wordt weergegeven in Tabel 9. In deze tabel worden enerzijds de volumes weergegeven die werden gestort, anderzijds het verschil in volume tussen de peiling juist voor en de peiling juist na de storting. Op basis van deze hoeveelheden wordt een stortefficiëntie berekend van ongeveer 69 %.

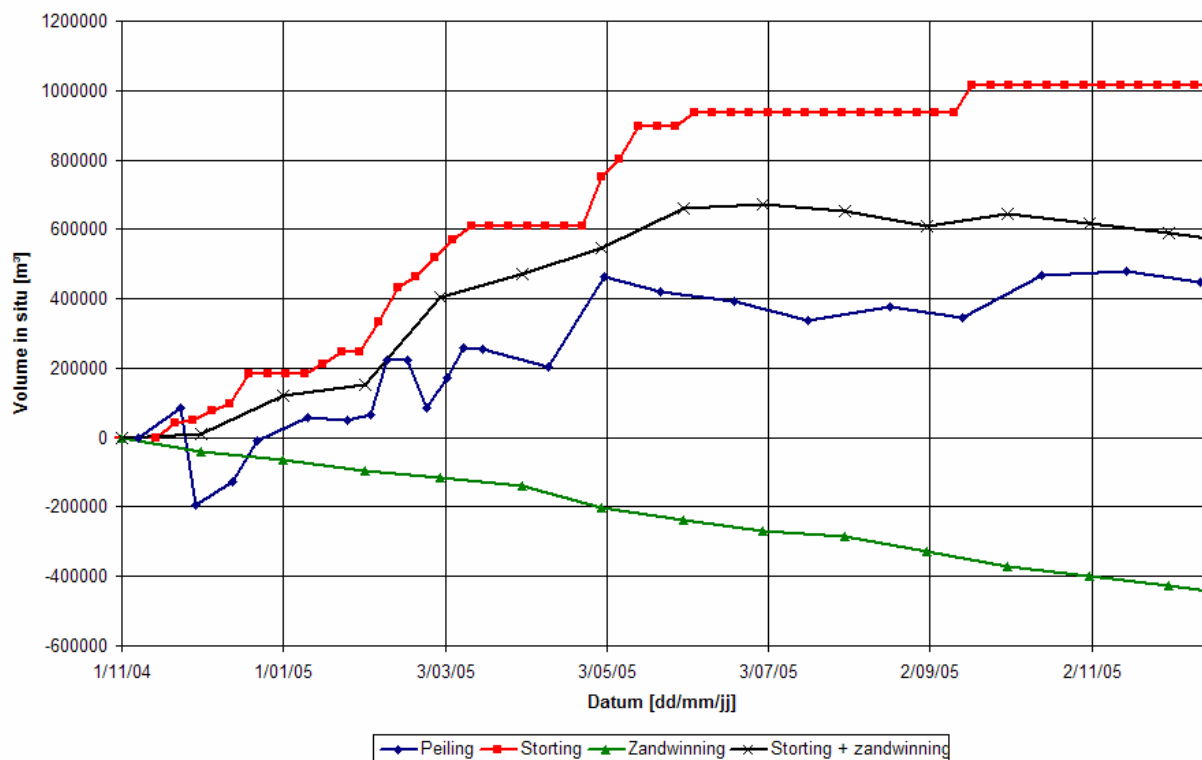
	Storting (in situ m ³)	Peiling (in situ m ³)	Stortefficiëntie (%)
Vak B2	40.920	27.637	68
Vak B4	39.558	25.024	63
Vak B6	28.972	24.253	84
Vak C2	74.866	53.404	71
Vak D2	45.523	31.692	70
Vak E3	31.979	19.534	61

Tabel 9 : Stortefficiëntie kleptechniek, stortvak "Schaar van Waarde"

Aanvullend bij deze efficiëntie berekening volgende kritische bemerking: de multibeam opmetingen vallen niet juist samen met het begin en het einde van de storting, waardoor er reeds natuurlijke erosie en/of sedimentatie van het gestorte materiaal kan zijn opgetreden. Daarnaast speelt het feit of de storting werd uitgevoerd in het midden of aan de rand van de rekencel eveneens een rol. Dit is zeer duidelijk zichtbaar bij vakken C3, C4, D3 en D4 waar een efficiëntie van meer dan 100 % werd berekend. Daarom werden deze vakken niet meegenomen in de berekening van de stortefficiëntie.

9.4.2.4 Volumeberekeningen

Voor de volumeberekeningen wordt per rekenvak de totale gestorte hoeveelheid baggerspecie en de hoeveelheid gewonnen zand bepaald, alsook de volumeveranderingen opgemeten met de multibeam techniek. Wanneer er in een rekenvak zowel baggerspecie wordt gestort als zand wordt gewonnen, dan wordt eveneens het verschil van beiden (= de netto ingreep) op de grafiek uitgezet. De resultaten van deze volumeberekening worden weergegeven in Figuren A.162 t.e.m. A.177. Ter illustratie wordt in Figuur 34 de volumeberekening gecumuleerd voor alle rekkenvakken weergegeven.



Figuur 34 : Volumebalans gecumuleerd voor alle rekencellen
Positieve volumes wijzen op sedimentatie, negatieve volumes duiden erosie aan.

Op deze figuur is te zien dat de stortingen (rood) geconcentreerd zijn in de eerste periode van de grafiek (einde 2004, eerste helft 2005), terwijl de zandwinning (groen) eerder uniform is in de tijd. Stortingen worden positief weergegeven (sedimentatie), terwijl zandwinvolumes als negatief worden beschouwd (erosie). Het verschil tussen de gestorte volumes en de gewonnen volumes geeft de netto

ingreep (zwart) weer. In geval er geen natuurlijke erosie of sedimentatie optreedt, zouden de gepeilde bathymetrieën deze lijn moeten volgen. Op de grafiek is echter te zien dat de peilingen (blauw) afwijken van de zwarte lijn: er is een natuurlijke erosie terug te vinden. Na 14 maanden is er ongeveer 125.000 m³ zand uit de rekenvakken geërodeerd.

Zoals uit Figuur 33 volgt, zijn de grootste volumes gestort in de rekenvakken C2 en D2. Opvallend bij deze rekenvakken is dat de peilingen steeds ver onder de stortvolumes blijven, met andere woorden dat een groot deel van het gestorte sediment (snel) erodeert en in andere rekenvakken terecht komt. In de naastliggende opwaartse vakken C3 en D3 is uit de volumeberekeningen af te leiden dat er sedimentatie is opgetreden: er is immers meer sediment in deze vakken terug te vinden dan er werd gestort. Nog meer opwaarts is deze trend van sedimentatie eveneens terug te vinden, zij het minder uitgesproken en eveneens pas later in de tijd. Wat bij de meest opwaartse rekenvakken eveneens meespeelt, is het effect van zandwinning wat eveneens een invloed heeft op het erosiepatroon van de gestorte specie: de zandwinputten zullen lokaal een grote sedimentatie veroorzaken. In rekenvak C7 wordt een sterke erosie berekend: echter vermoedelijk ligt de uniforme verdeling van de zandwinhoeveelheden over de vergunde zones aan de basis van deze berekende erosie.

De vakken afwaarts van C2 en D2 vertonen een beperkte sedimentatie. Echter wegens het kleine aantal bathymetrische opmetingen van deze vakken, is het moeilijk om een verband te vinden tussen de stortactiviteiten en de sedimentatie in deze vakken.

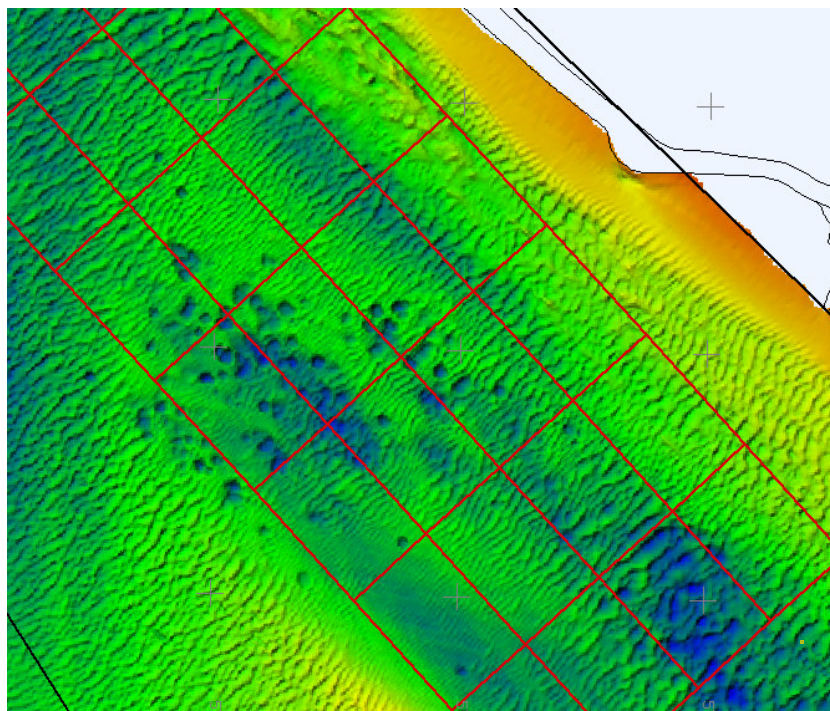
9.4.2.5 Zandbalans

Op basis van de bathymetrische kaarten, de wekelijkse stortgegevens en de maandelijkse zandwindata kan een zandbalans worden uitgewerkt. Deze zandbalans werd in eerste instantie gemaakt voor alle rekenvakken voor de ganse periode, dit is van begin november 2004 tot eind december 2005. Hiervoor werd eerst de netto erosie of sedimentatie per dag berekend. Deze wordt gegeven in Figuur A.178.

Uit deze figuur blijkt dat er vooral erosie optreedt in de kolommen 2 en 3. Reden hiervoor is dat het zwaartepunt van de stortactiviteiten in het stortvak "Schaar van Waarde" zich in deze kolommen bevindt. Het gestorte materiaal blijft dus niet ter plaatse maar zal in de loop van de tijd opnieuw geërodeerd worden. In de naastliggende vakken treedt vaak netto sedimentatie op, wat mogelijk wijst op transport van het geërodeerde materiaal naar deze vakken.

Een gelijkaardig fenomeen kan worden teruggevonden in de zuidoostelijke rekenvakken: hier vindt een sedimentatie plaats, te wijten aan de zandwinputten die in de loop van de tijd opnieuw zullen aanzanden. Opmerkelijk is dat er in de rekenvakken C6 en C7 een erosie wordt berekend, terwijl de sedimentatie in vak E7 zeer sterk is. Zoals eerder vermeld is dit vermoedelijk te wijten aan de schematisatie van de zandwinning, waardoor het locale effect van zandwinning wordt gemiddeld in de ruimte.

De berekende dagelijkse netto erosie en sedimentatie hoeveelheden zullen dienen om de zandbalans op te stellen. Hierbij zal verondersteld worden dat door een geschikte keuze van het rekenrooster het sedimenttransport vereenvoudigd kan worden tot een ééndimensionaal proces: sedimenttransport zal enkel gebeuren tussen vakken met dezelfde letter. Dit is een belangrijke hypothese, maar het uitwerken van een volledig tweedimensionale zandbalans is echter niet mogelijk. Bovendien blijkt uit de richting van de duinen in het studiegebied dat de hypothese gegrond is: de kruinen lijken over het algemeen loodrecht op de rekenvakken te liggen (zie Figuur 35). Enkel de rekenvakken dichtbij de drempel van Hansweert lijken een enigszins afwijkende richting van duinenpatroon te vertonen.



Figuur 35 : Oriëntatie bodemvormen ten opzichte van rekenrooster

In Figuur 36 wordt de invloed van een menselijke ingreep op de zandbalans weergegeven. Zowel het effect van storten als van zandwinning wordt schematisch voorgesteld, aangezien beide ingrepen in het studiegebied worden uitgevoerd. In de figuur wordt de situatie voor een vloedgedomineerde geul weergegeven: het transport gebeurt van afwaarts naar opwaarts. Initieel wordt het sedimenttransport bovendien uniform in de ruimte verondersteld.

Op de bovenste figuur wordt de invloed van een storting op de zandbalans weergegeven. Het effect van deze ingreep werd reeds beschreven in hoofdstuk 8. De middelste figuur geeft de invloed van zandwinning op de zandbalans weer. Net zoals bij een storting zal deze ingreep lokaal voor een wijziging van het sedimenttransport zorgen: opwaarts stijgt het vloedgedomineerde transport, terwijl er in de afwaartse richting een daling wordt teruggevonden. Dit effect zal zich eveneens in de loop van de tijd verder van de ingreepzone weg verplaatsen.

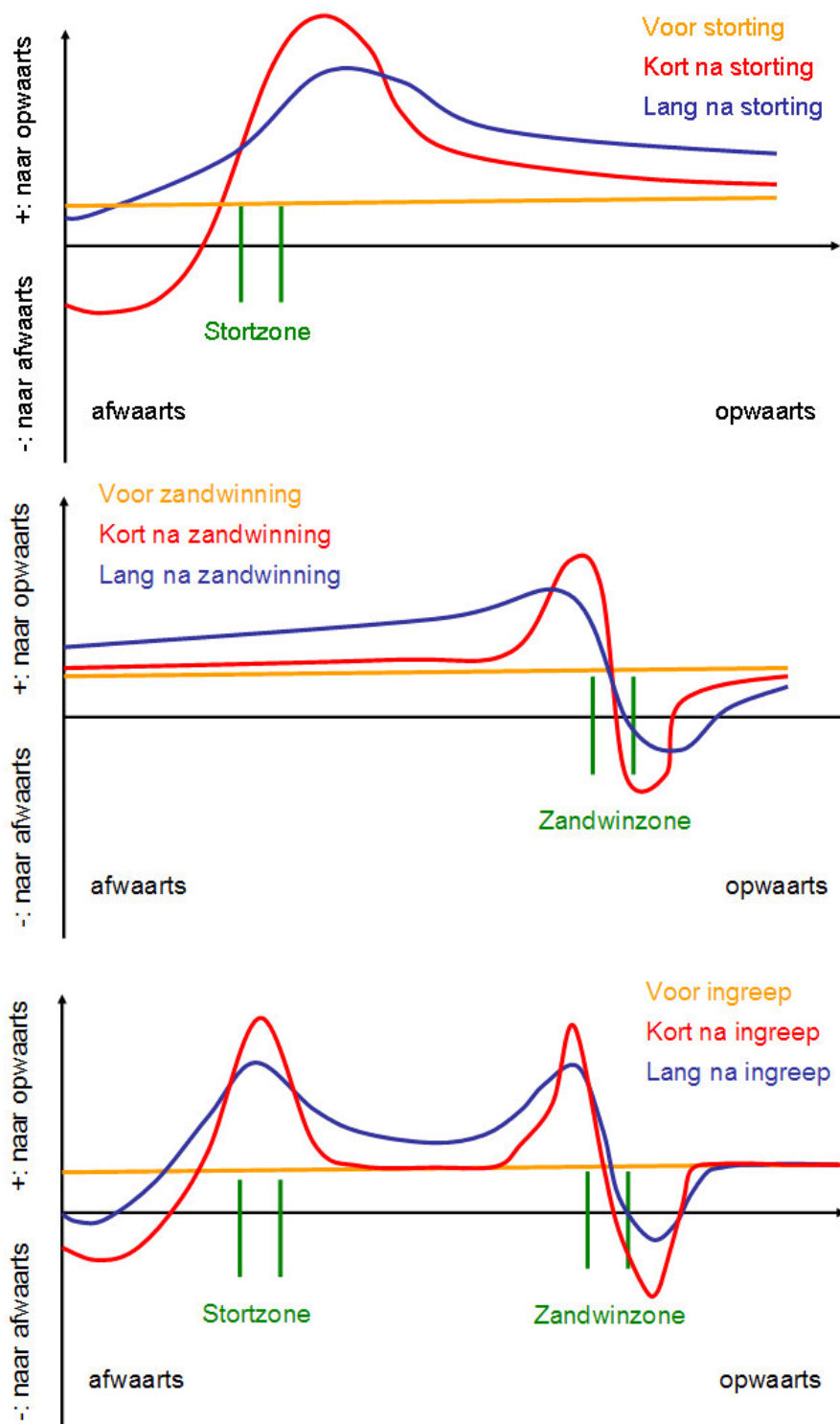
In het stortvak "Schaar van Waarde" vindt een combinatie van zowel storten als zandwinning plaats. Het gecombineerde effect van deze beide ingrepen wordt weergegeven in de onderste figuur. In feite is dit de som van de 2 ingrepen afzonderlijk, waarbij de stortzone en de zone van zandwinning op de figuur duidelijk van elkaar onderscheiden worden.

De zandbalans voor de periode 7 november 2004 – 13 december 2005 wordt grafisch voorgesteld op Figuur A.178. In deze balans wordt het sedimenttransport tussen de verschillende rekenvakken grafisch voorgesteld. Als transport aan de opwaartse rand werd een waarde van 1.67 m^3 per getij per eenheidsbreedte – ofwel een transport van 680 m^3 per dag per rekenvak – opgelegd. Dit transport werd berekend op basis van een natuurmeting (zie bijlage F).

Het effect van de stortingen is in de grafische zandbalans duidelijk zichtbaar. Opwaarts rekenvak 2 wordt een stijging van het sedimenttransport waargenomen. Voor de E-reeks is dit opwaarts rekenvak 3, aangezien er in deze rij in de vakken 1 en 2 niet werd gestort. Afwaarts rekenvak 2 ligt het sedimenttransport gemiddeld lager dan de opgelegde waarde van 680 m^3 aan de opwaartse rand. Dit wijst erop dat een – zij het beperkt – deel van de gestorte specie in de afwaartse richting wordt verplaatst.

Het effect van zandwinning is minder uitgesproken aanwezig, of beter minder zichtbaar. Enkel in de C-reeks is een duidelijke stijging van het sedimenttransport bij de vakken 7 en 8 terug te vinden. Voor de overige reeksen is er eveneens een stijging van het transport rond de zandwinzone ten opzichte van de opgelegde waarde van 680 m^3 , doch deze valt niet op gezien de relatief hoge waarde van transport tussen stort- en zandwinzone.

Besluitend kan gesteld worden dat de C-reeks een grote overeenkomst met de vooropgestelde evolutie uit Figuur 36 toont. Bij de andere reeksen is deze overeenkomst minder goed. De reden hiervoor is het feit dat de stortingen in deze reeksen niet geconcentreerd zijn in één of enkele rekenvakken, maar eerder verspreid zijn over de ganse reeks. Idem voor wat betreft de zandwinning.



Figuur 36 : Schematische evolutie zandbalans in de tijd

In Figuur A.178 wordt de zandbalans voor de hele studieperiode (november 2004 – december 2005) bestudeerd, dus inclusief periodes van storten en zandwinning. In Figuren A.179 en A.180 wordt de zandbalans gegeven voor een periode – respectievelijk 2 maanden en 6 maanden – nadat de stortingen in het stortvak “Schaar van Waarde” werden beëindigd (uitgezonderd een éénmalige storting in

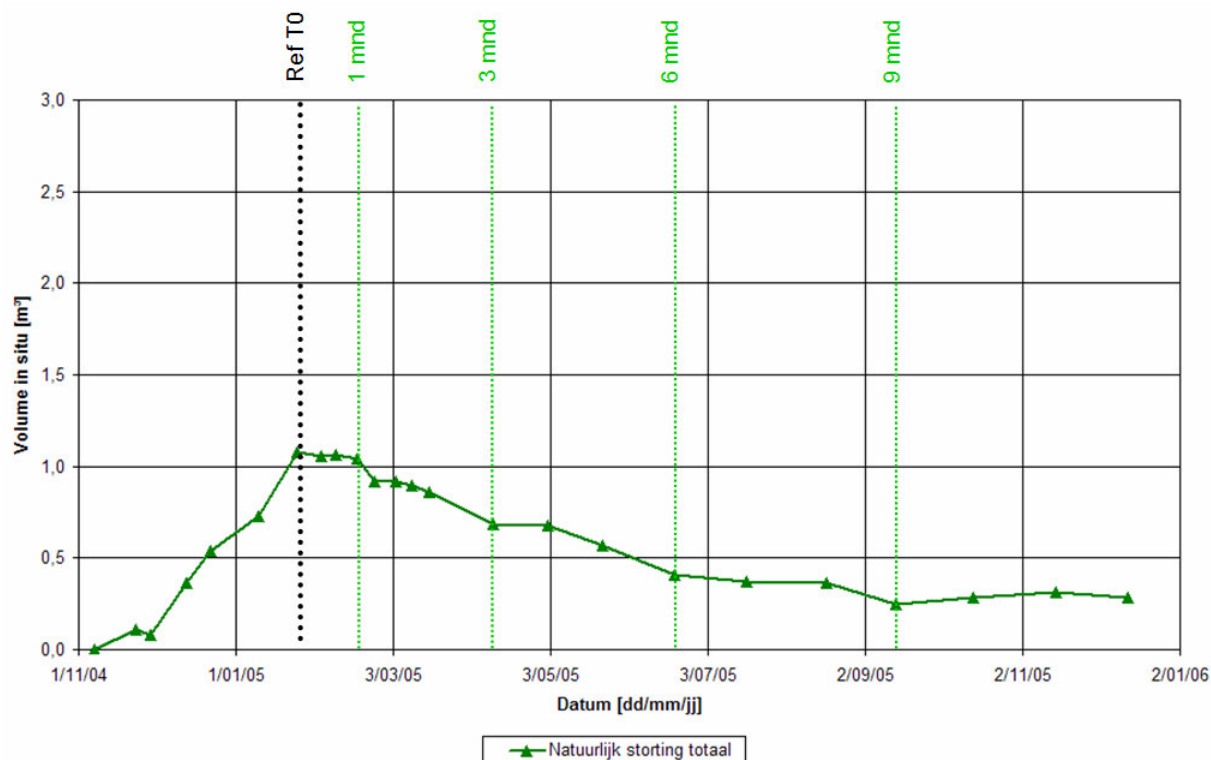
september 2005). Zandwinning vond tijdens deze periodes wel plaats. Hetzelfde berekende transport van 680 m³ werd aan de opwaartse rand opgelegd.

Deze zandbalansen zijn sterk gelijkaardig aan die voor de hele studieperiode. Wat wel opvalt is dat het effect van transport in de afwaartse richting zich vooral voordoet tijdens de stortingen. In de zandbalansen na storting is dit eb gedomineerde transport niet meer terug te vinden. Een tweede vaststelling is dat de transporten over een periode van 2 maanden niet significant groter zijn dan over een periode van 6 maanden. Dit is in tegenstelling met de verwachtingen. Uiteraard heeft de invloed van eenzelfde opgelegde waarde aan de opwaartse rand op dit besluit een belangrijke invloed.

9.4.2.6 Erosiesnelheid storting

Net zoals bij de stortproef van Walsoorden, zal ook voor de stortingen in de Schaar van Waarde een uitspraak worden gedaan over de erosiesnelheid. Hiervoor zullen berekeningen gebaseerd worden op rekenvak B2 (zie Figuur 32) aangezien er in dit vak op korte periode een storting van circa 75.000 m³ werd uitgevoerd. Deze concentratie van stortingen in ruimte en tijd is noodzakelijk opdat de evolutie van de storting duidelijk opgevolgd kan worden.

Figuur 37 toont de volumebalans per eenheidsoppervlak in functie van de tijd voor dit rekenvak. De zwarte stippellijn duidt het einde van de stortingen in deze cel aan: de oorspronkelijke bathymetrie is op dat ogenblik verondiept met meer dan 1.0 m. De groene lijnen geven respectievelijk de tijdsgrens van 1, 3, 6 en 9 maanden na beëindiging van de stortingen weer. De verandering van de volumebalans tussen deze lijnen gebeurt min of meer met een constante snelheid.



Figuur 37 : Volumebalans per eenheidsoppervlak van rekenvak B2

In Tabel 10 wordt de erosiesnelheid – berekend op basis van Figuur 37 – gegeven. Deze wordt uitgedrukt als de hoeveelheid sediment die per maand erodeert uit de stortzone, uitgedrukt als een uniforme verdieping van de bathymetrie. Uit deze berekening volgt dat de erosie vanaf de tweede maand zijn maximum bereikt, om vervolgens geleidelijk aan te verminderen. Tussen de negende en de twaalfde maand is de erosie zelfs omgeslagen in een beperkte sedimentatie. Ter illustratie voor de snelheden gegeven in Tabel 10: gedurende de stortperiode werd een sedimentatiesnelheid van 40.8 cm per maand berekend.

Tijd na storting (maanden)	Toename bodempeil tov referentie T0 (m)	Sedimentatie / erosie snelheid (cm/maand)
0	+ 1.08	
		- 4.1
1	+ 1.04	
		- 20.5
3	+ 0.68	
		- 11.7
6	+ 0.41	
		- 5.6
9	+ 0.25	
		+ 1.2
12	+ 0.29	

Tabel 10 : Sedimentatie / erosiesnelheid storting "Schaar van Waarde"

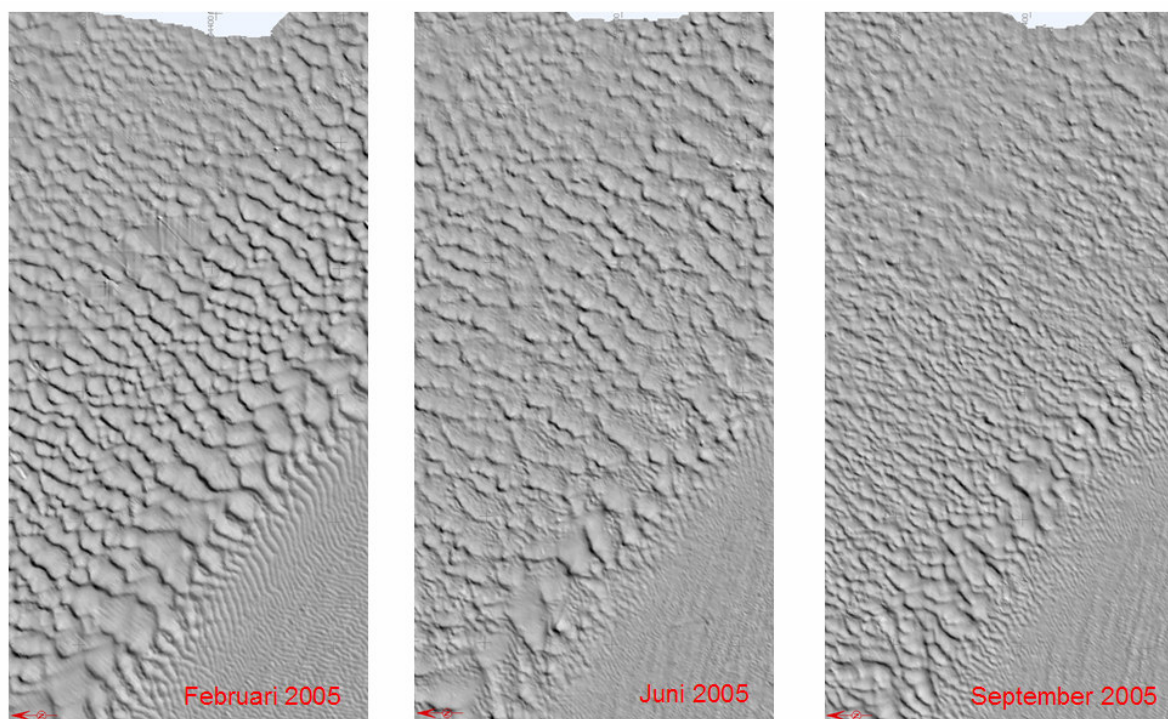
9.4.3 Analyse op basis van bodemvormen

De methode gebruikt in voorgaande paragraaf om de initiële transportrichting van de stortingen te bepalen, is niet toepasbaar op een uitgestrekt gebied. Het getransporteerde sedimentvolume wordt dan immers uitgesmeerd over een grote oppervlakte, waardoor veranderingen in de bathymetrie nauwelijks detecteerbaar worden. Om toch informatie te bekomen over het transport van sediment over een grote zone, zal de voortplanting van de bodemvormen bestudeerd worden. Om over voldoende informatie te beschikken om alle gebieden te kunnen bestuderen, werden eveneens opmetingen uit 2006 gebruikt. Enkele karakteristieken van de bodemvormen in de omgeving van de plaat van Walsoorden en de voortplantingsrichting van deze bodemvormen worden in deze paragraaf bestudeerd. Voor de naamgeving van de geulen en de platen in de Westerschelde wordt verwezen naar Figuur A.181.

9.4.3.1 Karakterisatie van bodemvormen rond de plaat van Walsoorden

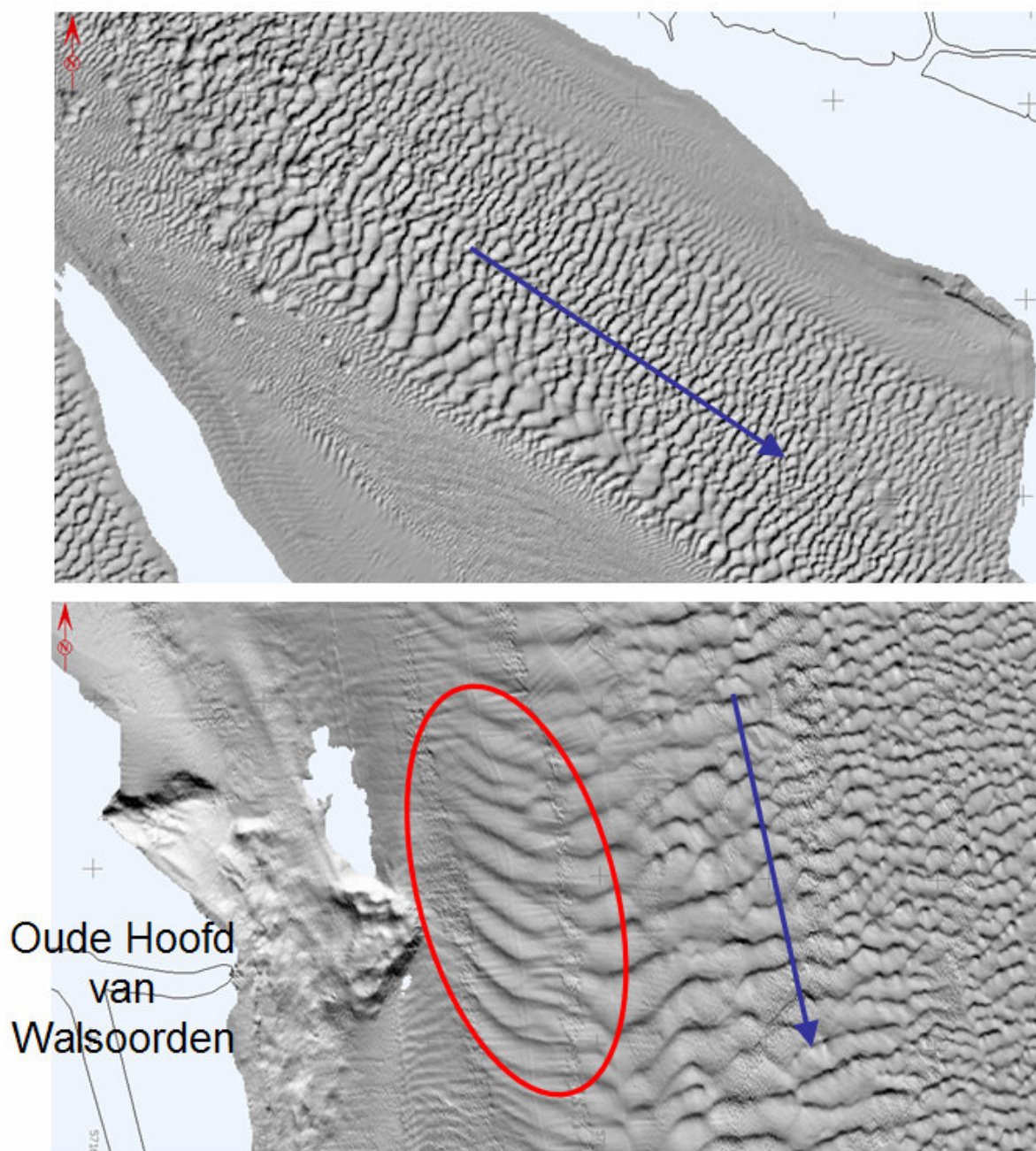
De multibeam opmetingen uitgevoerd in het kader van de proefstorting bij de plaattip van Walsoorden hebben een dergelijk hoge resolutie dat individuele bodemvormen duidelijk onderscheidbaar zijn. Met de zone A (zie Figuur 2) werd een relatief grote zone van de Westerschelde met deze mate van detail opgemeten, waarbij informatie over de afmetingen en de ruimtelijke verdeling van de bodemvormen beschikbaar werd. In Figuur A.182 wordt een overzichtskaart van deze zone getoond.

Een eerste vaststelling bij deze gegevens, is de grote variatie in afmetingen van de bodemvormen. Daar waar de bodemvormen eerder klein (ribbels met een hoogte kleiner dan 0.5 m) tot zelfs helemaal afwezig zijn in de eb- en vloedgeulen, zijn er duinen met afmetingen van 1.5 tot 2.0 m terug te vinden in de ondiepere zones. In de ebgeul Overloop van Valkenisse zijn er lokaal zelfs duinen met een hoogte van meer dan 3.0 m terug te vinden. Bovendien blijkt uit de opmetingen dat de hoogte van de bodemvormen sterk veranderlijk is in de tijd. Waar de bodemvormen het grootst zijn in de winter (maximale hoogte opmeting februari 2005), zijn deze het minst uitgesproken tijdens de zomer (minimale hoogte opmeting september 2005). Op Figuur 38 is dit tijdsafhankelijke gedrag van de bodemvormen ter hoogte van de Schaar van Waarde te zien.



Figuur 38 : Evolutie van de bodemvormen in de tijd (Schaar van Waarde)

De voortplantingsrichting van de bodemvormen – die wordt verondersteld gelijk te zijn aan de richting van het bodemtransport – is in het algemeen loodrecht op de kruin. Onder invloed van sterke dwars-hellingen, harde lagen of hydraulische structuren is hiervan een afwijking mogelijk [16]. Op Figuur 39 wordt dit geïllustreerd voor de bodemvormen in de Westerschelde: op de bovenste figuur is te zien dat de kruin van de duinen in de Schaar van Waarde loodrecht op de richting van de vloedstroom is gericht. Onderaan wordt de multibeam opname van de omgeving van het Oude Hoofd van Walsoorden getoond. Deze uitstekende constructie zorgt voor een lokale afwijking van de oriëntatie van de bodemvormen ten opzichte van de richting van de dominante vloedstroom.



Figuur 39 : Dominante stroomrichting (blauwe pijl) en oriëntatie bodemvormen

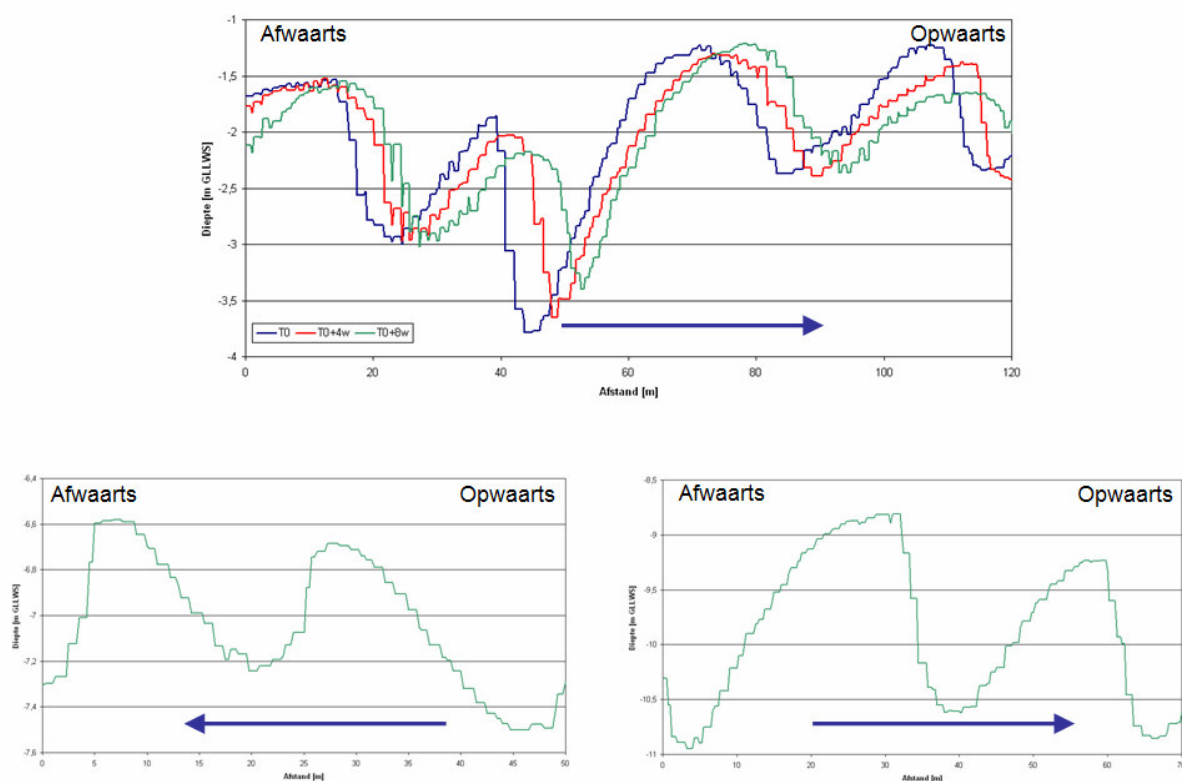
Boven: Schaar van Waarde, onder: Oude Hoofd van Walsoorden.

9.4.3.2 Analyse duinvoortplanting

Om de voortplantingsrichting van de bodemvormen te bestuderen, werd de opgemeten zone onderverdeeld in een aantal deelgebieden. De bodemkarakteristieken enerzijds en de oriëntatie van de bodemvormen anderzijds zijn voor deze deelgebieden gelijkaardig. Zones in het estuarium waar bodemvormen niet of niet uitgesproken genoeg aanwezig zijn, werden in de verdere analyse niet meegenomen. Vervolgens werd voor elk deelgebied een langsgaai doorheen enkele bodemvormen geanalyseerd. Uit deze analyse werd de vloed- of ebdominante richting van het bodemtransport bepaald. Door vervolgens de hypothese van bodemtransport loodrecht op de duinkruin aan te nemen, kon de transportrichting nauwkeurig worden bepaald.

Figuur 40 toont de geanalyseerde langsgaai doorheen enkele duinen voor 3 deelgebieden. Een eerste manier om de vloed- of ebdominante transportrichting van de bodemvormen te bepalen, is meerdere opnames in de tijd ten opzichte van elkaar uit te zetten. Op het bovenste gedeelte van Figuur 40

wordt dezelfde langsraai getoond op tijdstip T0 (blauw), T0 + 4 weken (rood) en T0 + 8 weken (groen). Daar de individuele duinen duidelijk onderscheidbaar zijn van elkaar, kan op die manier worden gezien dat het transport van de duinen voor dit deelgebied vloedgedomineerd is. Een tweede manier om de vloed- of ebdominante transportrichting van de bodemvormen te bepalen, berust op de geometrie van de bodemvorm. Een bodemvorm is immers niet symmetrisch, maar heeft een zachte helling aan de loefzijde en een steilere helling aan de lijzijde. Oorzaak van deze asymmetrie is het transport van de individuele zandkorrels: de korrels rollen en springen langs de loefzijde naar omhoog, om vanaf de top van de duin naar beneden te tuimelen en in de luwte terecht te komen achter de lijzijde. Op Figuur 40 onderaan zijn 2 voorbeelden zichtbaar van deze duinasymmetrie: links van ebgedomineerd zandtransport, rechts vloedgedomineerd.



Figuur 40 : Analyse voortplanting bodemvormen (blauwe pijl)

Boven: evolutie bodemvorm in de tijd, onder: geometrie bodemvorm.

Het resultaat van de analyse van de transportrichting van de bodemvormen wordt visueel voorgesteld in Figuur A.183. De geanalyseerde langsraaien voor elk deelgebied worden getoond in Figuren A.184 t.e.m. A.194. Aangezien uit deze analyse geen informatie over de grootte van het sedimenttransport kan worden afgeleid (een grotere duin wijst immers niet noodzakelijk op een hoger transport) worden alle pijlen op Figuur A.183 even groot getekend. De richting van de transportpijlen is – volgens de hypothese [16] – loodrecht op de kruin van de bodemvormen verondersteld. Uitzondering hierop zijn de transportpijlen in de Overloop van Valkenisse. De bodemvormen in deze ebgeul hebben een oriëntatie die sterk afwijkt van de dominante vloedstrooming. Aangezien uit de frequente multibeam opmetingen van deze ebgeul is gebleken dat de bodemvormen zich weldegelijk volgens de vloedrichting voortplanten (in tegenstelling tot wat hun kruinligging doet vermoeden), werd hier de vloedrichting als zijnde representatief gekozen. Het is voorlopig nog onduidelijk waarom de richting van de bodemvormen in de Overloop van Valkenisse afwijkt van de dominante transportrichting.

In de zone afwaarts de plaat van Walsoorden is er zoals verwacht zowel eb- als vloedgedomineerd transport terug te vinden. Aan de rechteroever van de vaargeul is het transport vloedgedomineerd, de linkeroever van de vaargeul is dan weer ebgedomineerd. In de vaargeul zelf kan de transportrichting bij gebrek aan uitgesproken bodemvormen niet bepaald worden. Ter hoogte van de Schaar van Ossenis is duidelijk de vloeddominantie van deze schaar op het lokale sedimenttransport waar te nemen (transportpijl 5).

De Schaar van Waarde (en de Schaar van Valkenisse in het verlengde) is van oorsprong een vloedgeul. Uit snelheids- en sedimenttransportmetingen [14] is echter gebleken dat deze geul eveneens een belangrijke ebfunctie heeft. Lokale sedimenttransportmetingen in de Schaar van Valkenisse langs de rand van de Plaat van Walsoorden bevestigen dat er zowel een grote transportpiek is bij de vloed als bij de eb: het effect van beide fazen van het getij op het sedimenttransport is hier quasi even groot [14]. Uit de analyse van de bodemvormen blijkt dat het sedimenttransport in de Schaar van Waarde en de Schaar van Valkenisse hoofdzakelijk vloedgedomineerd is. Langs de oever van de noordelijke zandtong gebeurt het transport van de bodemvormen in de ebrichting (transportpijl 12). Vermoedelijk is het bodemtransport langsheen de ganse oever van de plaat van Walsoorden ebgedomineerd, maar bij gebrek aan bodemvormen kon dit niet worden vastgesteld. In tegenstelling tot de verwachtingen werd een vloedgedomineerd transport van de bodemvormen vastgesteld aan de oever van de plaat aan de overgang van de Schaar van Valkenisse in de Overloop van Valkenisse (transportpijl 20). Ter hoogte van deze locatie ondergaat de Plaat van Walsoorden een sterke erosie, die volgens de analyse van de bodemvormen veroorzaakt zou worden door een vloedstroming.

De locatie van de stortproef van Walsoorden bevindt zich in de Schaar van Waarde. Uit de volumeberekeningen bleek dat de proefstorting voornamelijk wordt geërodeerd in de opwaartse richting, dus door de vloedstroom. De analyse van de bodemvormen ter hoogte van deze locatie bevestigen dit: de bodemvormen vertonen een vloedgedomineerde transportrichting.

In het Zuidergat ondergaan de bodemvormen voornamelijk een vloedgedomineerd transport. Dit is opmerkelijk gezien het Zuidergat van nature een ebgeul is. Waarschijnlijk speelt de afwezigheid van significante bodemvormen in het grootste gedeelte van deze ebgeul hierbij een rol. Opmerkelijk is het bodemtransport ter hoogte van de zuidelijke zandtong: hier wordt lokaal een ebtransport waargenomen, dat waarschijnlijk verantwoordelijk is voor de instandhouding van deze zandtong.

In de Overloop van Valkenisse tot slot bevindt zich een dynamische duinengordel die van de buitenbocht van deze geul overgaat naar de buitenbocht van het Nauw van Bath. Om een voorlopig nog onbekende reden lijkt deze duinengordel de vaargeul als het ware over te steken. Op deze duinengordel na – waarvan de duinen zeer uitgesproken zijn – zijn er geen bodemvormen terug te vinden. In tegenstelling tot de verwachtingen blijkt uit de analyse dat de bodemvormen een vloedgedomineerd transport ondergaan. Zoals reeds eerder vermeld, is momenteel nog onduidelijk waarom de oriëntatie van deze duinen sterk afwijkt van hun schijnbare voortplantingsrichting.

9.5 Besluiten

Om de toegankelijkheid van de Scheldehavens te garanderen, is continu onderhoudsbaggerwerk op de drempels in de Schelde noodzakelijk. Deze baggerspecie wordt teruggestort in de daarvoor vergunde stortzones binnen het estuarium. Eén van deze stortzones is de Schaar van Waarde, waar volgens de geldende WVO vergunning jaarlijks een volume van 1.000.000 m³ baggerspecie mag gestort worden. In het kader van de proefstorting bij Walsoorden werd deze stortzone regelmatig opgemeten met de multibeam techniek. Deze dataset vormt een uniek instrument om de evolutie van de stortingen in de tijd op te volgen.

Op basis van de multibeam opmetingen werd een beperkt deel van de stortzone Schaar van Waarde bestudeerd. In deze zone – waar op korte tijd 300.000 m³ baggerspecie werd gestort – werd vastgesteld dat met de kleptechniek een vrij uniforme verondieping kan worden aangebracht. Vrij snel ontwikkelden zich bovenop de storting bodemvormen, die zich in opwaartse richting voortplanten. Drie maanden na het beëindigen van de stortingen, is er slechts een beperkte erosie waar te nemen: in vergelijking met de grote dynamiek van de bodemvormen in de omgeving van de stortzone, lijkt de stortzone zelf weinig dynamisch te zijn.

Op basis van een rekenrooster werd de stortzone onderverdeeld in kleine deelgebieden. Voor deze verschillende deelgebieden werd de volumebalans uitgewerkt. Deze balans bevestigt de vloeddominantie van het transport, alhoewel er in de meest afwaartse rekenvakken eveneens een beperkte sedimentatie wordt waargenomen. Dit beperkte afwaartse transport komt eveneens in de zandbalans opnieuw tevoorschijn, waarbij tevens zichtbaar wordt dat dit voornamelijk in de periode juist na storting optreedt. De combinatie van storten en zandwinnen in deze vloedschaar, bovenop het verspreide karakter van deze ingrepen in ruimte en tijd, maken dat de analyse van de volumebalans en zandbalans zeer complex is, en eerder weinig resultaten heeft opgeleverd.

Om te bepalen of recirculatie van de gestorte specie – dit is het transport van de specie door de Schaar van Valkenisse, vervolgens door de Overloop van Valkenisse via het Zuidergat opnieuw naar de drempel van Hansweert – gebeurt, werd de transportrichting voor de ganse opgemeten zone bepaald. Hiervoor werd uitgegaan van de beweging van de bodemvormen, waarbij het transport loodrecht op de duinkruin wordt verondersteld. Uit de zo bekomen transportkaart blijkt dat het gestorte materiaal via de Schaar van Waarde in het platencomplex van Valkenisse en de Schaar van Valkenisse wordt getransporteerd.

In de ebgeulen Overloop van Valkenisse en Zuidergat zijn slechts een beperkt aantal bodemvormen aanwezig. Deze bodemvormen ondergaan – in tegenstelling tot de verwachting – een vloedgedomineerd transport. Hieruit concluderen dat het zandtransport in deze ebgeulen vloedgedomineerd is, zou te onvoorzichtig zijn. Een gevolg hiervan is dat er geen uitspraak kan worden gedaan over het al dan niet optreden van recirculatie van de gestorte specie in de Schaar van Waarde.

Tot slot kan worden vermeld dat de transportkaart op basis van de bodemvormen toont dat de noordelijke en de zuidelijke zandtong ter hoogte van de zeewaartse tip van de plaat van Walsoorden in stand worden gehouden door ebgedomineerd transport. De erosie van de plaattip zelf is dan weer te wijten aan de vloedstroming, die op deze locatie duidelijk dominant is. De waargenomen erosie van noordelijke zijde van de landwaartse tip van de plaat van Walsoorden wordt – in tegenstelling tot de verwachtingen – lijkt te worden veroorzaakt door een vloedgedomineerde stroming.

10 VERGELIJKING PROEFSTORTING WALSOORDEN VERSUS STORTINGEN IN SCHAAR VAN WAARDE

In de voorgaande 2 hoofdstukken werd het storten in het vak Schaar van Waarde bestudeerd: enerzijds een in situ stortproef van 500.000 m³ met behulp van een sproeikop in het kader van het piloot-project van Walsoorden (cfr. hoofdstuk 8), anderzijds circa 1.100.000 m³ baggerspecie gestort door middel van de traditionele kleptechniek (cfr. hoofdstuk 9). Beide stortingen – en vooral dan de morfologische evolutie van de stortingen in de tijd – zullen in dit hoofdstuk met elkaar worden vergeleken. Belangrijk hierbij is op te merken dat ondanks het feit dat de stortingen slechts enkele honderden meters van elkaar verwijderd zijn, de hydrodynamische condities op beide locaties weldegelijk verschillen.

10.1 Uitvoering van de storting

Aangezien het doel van beide stortingen (stortproef versus traditionele storting onderhoudsbaggerwerk) verschillend is, zijn ook de uitvoeringscondities verschillend. Bij de stortproef werd 500.000 m³ baggerspecie op een periode van 5 weken gecontroleerd aangebracht met behulp van een sproeikop. Het stortgebied besloeg een oppervlakte van 150.000 m². Na het einde van deze storting kon de morfologische evolutie ervan ongestoord worden opgevolgd.

De storting van 1.100.000 m³ zand in het kader van het onderhoudsbaggerwerk werd uitgevoerd gedurende de ganse monitoringperiode met behulp van de traditionele kleptechniek. Bovendien zijn deze stortingen niet geconcentreerd in de ruimte, maar werden ze verspreid over een gebied van ongeveer 1.000.000 m². Naast het storten vond er in hetzelfde gebied eveneens zandwinning plaats, een activiteit die lokaal een grote invloed heeft op het sedimenttransport.

10.2 Efficiëntie storttechniek

De efficiëntie van de storttechniek werd gedefinieerd als het volume stortspecie op de bodem van het stortvak ten opzichte van het totale gestorte volume. Deze parameter werd zowel voor de stortproef als voor de stortingen van het onderhoudsbaggerwerk bepaald. Waar voor de sproeikop techniek een efficiëntie van 85 % wordt berekend, is dit voor de kleptechniek beperkt tot 69 %. Zoals verwacht kan de stortspecie veel efficiënter worden aangebracht met de sproeikop.

Een kritische bemerking bij de stortefficiëntie behelst de afbakening van de stortvakken. Stortingen die binnen een bepaald vak werden voorzien maar op de rand van of over de grens van dit vak werden uitgevoerd, leiden immers tot een verlaging van de berekende efficiëntie. Bovendien gebeurt de multibeam opmeting van de stortzone meestal niet onmiddellijk na beëindiging van de storting, waardoor er reeds erosie of sedimentatie van de gestorte massa kan optreden. Het feit dat in sommige rekenvakken een efficiëntie van meer dan 100 % werd berekend terwijl de efficiëntie in andere rekenvakken zeer laag is, bevestigt deze bemerking. Daarom dienen de berekende getallen met de nodige voorzichtigheid benaderd te worden.

10.3 Morfologische evolutie storting

Om de morfologische evolutie van de storting te vergelijken, wordt voor de traditionele stortingen van het onderhoudsbaggerwerk gefocust op een storting van circa 300.000 m³ die in ruimte en tijd vrij geconcentreerd is. Deze storting veroorzaakte een min of meer uniforme ophoging van de lokale bathymetrie met 2.0 m, vergelijkbaar met de stortproef waarbij de bodem gemiddeld circa 2.5 m werd opgehoogd. Het aanwezige duinpatroon ter hoogte van de stortlocatie werd door de respectievelijke

stortingen omgevormd tot een quasi vlakke bodem, waarbij de oneffenheden het meest uitgesproken zijn bij gebruik van de kleptechniek.

Op beide stortlocaties zijn de bodemvormen na 3 maanden reeds duidelijk aanwezig. Daar waar de erosie die de proefstorting heeft ondergaan op dat ogenblik vrij uniform en eerder beperkt van grootte is (lichte erosie top storting, lichte sedimentatie opwaarts storting), is de erosie van de storting in de Schaar van Waarde geconcentreerd aan de afwaartse top van de storting. Bovendien is er bij deze tweede geen sedimentatiezone terug te vinden. 6 maanden later hebben de duinen bij de stortproef terug hun oorspronkelijke grootte bereikt, terwijl dit niet het geval is in de Schaar van Waarde. Dit is vermoedelijk echter te wijten aan nieuwe stortingen in deze zone.

Wat de erosiesnelheid betreft, is er getracht om deze te karakteriseren voor beide stortingen. Onderstaande tabel geeft een samenvatting van deze resultaten. Hieruit blijkt dat de stortingen op beide locaties een gelijkaardig verloop kennen, waarbij de erosiesnelheid eerst toeneemt om een maximum te bereiken tussen de tweede en de derde maand na de storting. Vervolgens neemt de erosiesnelheid opnieuw af om in Waarde te veranderen in sedimentatie vanaf de negende maand. Opmerkelijk is het feit dat er bij de stortproef de eerste maand na het einde van de proef beperkte sedimentatie optreedt.

Algemeen gesproken zijn de erosiesnelheden groter bij de proefstorting. Echter hier dient opgemerkt te worden dat de erosiesnelheid eveneens afhankelijk is van de grootte van de verstoring, met andere woorden van de dikte van de gestorte laag. Daar deze bij de stortproef groter is dan in de Schaar van Waarde (juist na storting 2.34 m versus 1.08 m) is het logisch dat de snelheden bij de proefstorting groter zijn.

Tijd na storting (maanden)	Sedimentatie / erosie snelheid stortproef (cm/maand)	Sedimentatie / erosie snel- heid Waarde (cm/maand)
0		
	+ 1.6	- 4.1
1		
	- 5.0	- 20.5
2		
	- 25.0	- 20.5
3		
	- 15.2	- 11.7
6		
	- 8.7	- 5.6
9		
	- 2.7	+ 1.2
12		

Tabel 11 : Vergelijking sedimentatie / erosiesnelheid storting "Schaar van Waarde"

11 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

11.1 Inleiding

Binnen het kader van de Ontwikkelingsschets Schelde-estuarium 2010 (OS 2010) wordt de verruiming van de vaargeul naar de haven van Antwerpen tot 131 dm getij-onafhankelijke vaart onderzocht. Het onderzoek heeft aangegeven dat voor het terugstorten van onderhoudsbaggerwerk een flexibele stortstrategie zal toegepast moeten worden. Deze studie, uitgevoerd in het kader van het project Morfologisch Beheer (OS 2010) in opdracht van ProSes 2010, heeft een aantal relevante aspecten in verband met de flexibele stortstrategie bestudeerd.

Voorliggende studie heeft als doel het effect van menselijke ingrepen in het Schelde-estuarium te onderzoeken. Hiervoor werd gebruik gemaakt van bagger- en stortintensiteitskaarten die door de afdeling Maritieme Toegang sinds 1999 worden geregistreerd en bewaard. Deze gedetailleerde bagger- en stortdata werden samen met maandelijkse informatie over zandwinning en frequente topo-bathymetrische opmetingen van het hele Schelde-estuarium gebruikt om deze studie aan te vatten. In het bijzonder werden de stortingen – zowel de in situ stortproef te Walsoorden als het storten van onderhoudsbaggerwerk – in het stortvak Schaar van Waarde bestudeerd. In deze studie werd enkel naar de zandfractie gekeken: het effect van slib werd buiten beschouwing gelaten.

11.2 Conclusies

In het eerste deel van de studie werd getracht om de baggerinspanning op de verschillende drempels van het Schelde-estuarium te begroten. Hiervoor werd niet enkel het baggervolume op een drempel in rekening genomen, maar werd tevens bestudeerd hoe de topo-bathymetrische hoogte van de betreffende drempel wijzigt onder invloed van baggeren. Op die manier werd de aanzandingssnelheid van elke drempel bepaald: dit is de snelheid waarmee de drempel zou sedimenteren in afwezigheid van baggerwerken.

Het onderhoudsbaggerwerk in het Schelde-estuarium is vrij geconcentreerd: in de periode 2000-2005 werd ongeveer 50 % van het onderhoudsbaggerwerk in het hele estuarium verricht op de Overloop van Valkenisse en de Drempel van Hansweert. Deze 2 drempels samen met de Drempel van Borssele, het Gat van Ossenis en de Drempel van Bath nemen ongeveer 75 % van de totale baggerinspanning voor hun rekening. Wanneer de aanzandingssnelheid van de drempels in de betreffende periode wordt bestudeerd, verandert het beeld enigszins: de Drempel van Krankeloo vertoont de grootste aanzandingssnelheid. Echter wegens de beperkte afmetingen van deze drempel, blijven de totale baggervolumes redelijk beperkt. De Overloop van Valkenisse, de Drempel van Hansweert en de Drempel van Borssele danken hun grote baggervolumes niet enkel aan de omvang van de drempel, maar eveneens aan de grote aanzandingssnelheid. Dit is niet het geval voor het Gat van Ossenis en de Drempel van Bath: deze vertonen eerder een matige tot lage aanzandingssnelheid.

De gebaggerde specie wordt op een aantal vergunde locaties teruggestort. Het tweede deel van deze studie onderzocht de dynamiek van de traditionele stortlocaties in het Schelde-estuarium. Aan de hand van stortintensiteitskaarten en topo-bathymetrische opmetingen werd voor elke stortlocatie bepaald in welke mate de uitgevoerde stortingen snel worden geërodeerd of voor een ophoging van het betreffende stortvak zorgen.

Uit de stortintensiteitskaarten is gebleken dat de zone die wordt gebruikt voor de stortingen beperkt blijft tot een fractie van het vergunde stortvak. Deze vergunde gebieden zijn meestal in dynamische gebieden gelegen, bijvoorbeeld diepe turbulentieputten of de zone tussen 2 uitgesproken geulen. Echter uit analyse van de erosie van de stortingen is gebleken dat er een verschil in dynamiek kan zijn binnen eenzelfde vergund stortgebied. Als voorbeelden worden de Schaar van Waarde, de vloedgeul Everingen en het Gat van Ossenis vermeld. Deze bevindingen zijn belangrijk met het oog op de

toekomstige invulling van de flexibele stortstrategie. Bij de keuze van de stortlocaties binnen de strategie van flexibel storten zal het bijgevolg van groot belang zijn voorafgaandelijk doelstellingen te definiëren waarom op een bepaalde locatie gestort zal worden. Dit kan enerzijds zijn opdat de specie zo snel mogelijk geërodeerd zal worden, anderzijds kan de specie gestort worden opdat bepaalde morfologische ontwikkelingen zich zouden voordoen. Afhankelijk van de doelstelling van de storting dient een andere stortlocatie gekozen te worden.

Het derde deel van de studie betrof de zandbalans voor de periode 2000-2005. Deze balans werd berekend vanaf Rupelmonde tot de raai Vlissingen-Breskens. Ter hoogte van de monding van de Rupel werd geen import verondersteld, een jaarlijkse sedimentatie van 0.3 Mm^3 zand in het Verdrongen Land van Saeftinge werd aangenomen. Uit deze zandbalans volgt dat er zand van de Westerschelde naar de Beneden Zeeschelde wordt getransporteerd. De grootte-orde van de sediment uitwisseling bedraagt tussen de 0.5 Mm^3 en 1.0 Mm^3 per jaar. Aan de monding van de Westerschelde vindt er tussen 1999 en 2000 een beperkte export plaats, tussen 2000 en 2001 een beperkte import. Vanaf 2001 is er een uitgesproken export, die ongeveer 5.0 Mm^3 per jaar bedraagt. Tussen 1999 en 2005 resulteert dit in een export van bijna 18 Mm^3 zand. Deze export is bijna volledig te wijten aan de morfologische evolutie van balansvak 5 uit de Westerschelde. Een gelijkaardig verloop van de zandbalans werd teruggevonden in [6].

Teneinde de invloed van de gemaakte hypothesen te onderzoeken, werd een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de randvoorwaarden. Uit deze analyse is gebleken dat de randvoorwaarde slechts een beperkte invloed op de zandbalans heeft. Geenszins zal hierdoor de conclusie in verband met export tussen de Westerschelde en de monding worden beïnvloed. Enkel de grootte van de export zal hierdoor licht gewijzigd worden. Het transport van zand van de Westerschelde naar de Beneden Zeeschelde kan bij een wijziging van de nultransport hypothese ter hoogte van Rupelmonde wel wijzigen.

In het vierde en laatste deel van de studie werden 2 stortingen in de Schaar van Waarde bestudeerd: enerzijds een in situ stortproef van 500.000 m^3 met behulp van een sproeikop in het kader van het pilootproject van Walsoorden, anderzijds circa $1.100.000 \text{ m}^3$ onderhoudsbaggerspecie gestort door middel van de traditionele kleptechniek. De evolutie van beide stortingen in de tijd werd in dit rapport bestudeerd.

Wat de efficiëntie van de storttechniek – gedefinieerd als de verhouding tussen het volume stortmateriaal op de bodem van het stortvak ten opzichte van het totale gestorte volume – betreft, werd zoals verwacht een hogere waarde teruggevonden voor de methode met de sproeikop. Met deze techniek werd een stortefficiëntie van 85 % gehaald, terwijl bij de traditionele storttechniek slechts 69 % van het gestorte materiaal effectief binnen het stortvak is terug te vinden.

Voor de stortproef te Walsoorden werd op basis van de multibeam opmetingen een vloedgedomineerd transport vastgesteld. De vloeddominantie van het transport werd tevens bevestigd door de voortplantingsrichting van de duinen die ontstaan op de gestorte specie. Ongeveer 12 maanden na beëindiging van de stortproef heeft de specie aansluiting gevonden bij de noordelijke zandtong, waardoor het ondiepwatergebied ter hoogte van deze locatie werd uitgebreid. Transport van baggerspecie richting drempel van Hansweert onder invloed van de ebstroming is niet aanwezig.

Wat de erosiesnelheid van de storting betreft, kunnen 3 fasen onderscheiden worden. Tijdens de eerste maand na de proefstorting, wordt er quasi geen volumeverandering waargenomen. De volumeberekeningen wijzen eerder op een beperkte sedimentatie dan op een erosie. Vervolgens neemt het volume in de stortzone af, om tussen de tweede en de derde maand een maximum erosie te bereiken. Geleidelijk aan vermindert de volumeafname tussen de negende en de twaalfde maand na de storting. De eerste 3 maanden na de storting is er een duidelijk verschil tussen het opwaartse en het afwaartse deel van de stortzone. Echter vanaf de vierde maand is de erosiesnelheid uniform over de hele stortzone.

De onderhoudsstortingen in de zone Schaar van Waarde werden eveneens bestudeerd. Er werd vastgesteld dat met de kleptechniek een vrij uniforme verondieping kan worden aangebracht. Vrij snel ontwikkelden zich bovenop de storting bodemvormen, die zich in opwaartse richting – i.e. onder invloed van de vloedstroming – voortplanten. Drie maanden na het beëindigen van de stortingen, is er slechts een beperkte erosie waar te nemen: in vergelijking met de grote dynamiek van de bodemvormen in de omgeving van de stortzone, lijkt de stortzone zelf weinig dynamisch te zijn. De combinatie

van storten en zandwinnen in deze vloedschaar, bovenop het verspreide karakter van deze ingrepen in ruimte en tijd, maken dat de analyse van de morfologische evoluties in deze zone zeer complex is, en eerder weinig resultaten heeft opgeleverd.

Om te bepalen of recirculatie van de gestorte specie – dit is het transport van de specie door de Schaar van Valkenisse, vervolgens door de Overloop van Valkenisse via het Zuidergat opnieuw naar de drempel van Hansweert – gebeurt, werd de transportrichting voor de ganse opgemeten zone bepaald. Hiervoor werd uitgegaan van de beweging van de bodemvormen, waarbij het transport loodrecht op de duinkruin wordt verondersteld. Uit de zo bekomen transportkaart blijkt dat het gestorte materiaal via de Schaar van Waarde in het platencomplex van Valkenisse en de Schaar van Valkenisse wordt getransporteerd. In de ebgeulen Overloop van Valkenisse en Zuidergat zijn slechts een beperkt aantal bodemvormen aanwezig. Deze bodemvormen ondergaan – in tegenstelling tot de verwachting – een vloedgedomineerd transport. Hieruit concluderen dat het zandtransport in deze ebgeulen vloedgedomineerd is, zou te onvoorzichtig zijn. Een gevolg hiervan is dat er geen uitspraak kan worden gedaan over het al dan niet optreden van recirculatie van de gestorte specie in de Schaar van Waarde.

11.3 Aanbevelingen

Uit voorgaande studies was reeds gebleken dat er de laatste jaren een export van zand uit de Westerschelde naar het mondingsgebied plaatsvond. Echter uit deze studie volgt dat deze export – die in voorgaande studies tussen 0.5 Mm³ en 1.0 Mm³ werd begroot – de laatste jaren is toegenomen tot meer dan 5.0 Mm³ per jaar. Het is opmerkelijk dat deze export volledig wordt gedomineerd door de morfologische evoluties in balansvak 5 van de Westerschelde. Uit de erosie-sedimentatiepatronen voor dit balansvak kan niet worden afgeleid wat de reden is voor de grote volume afname in dit balansvak. Het lijkt alsof de erosie niet echt is geconcentreerd in een bepaalde zone, maar eerder is verspreid over het volledige vak. Verder onderzoek naar de morfologische ontwikkeling van dit vak is dan ook ten zeerste aangewezen.

Op het moment van publicatie van dit rapport zijn de bathymetrische data van 2006 reeds beschikbaar. Het is aangewezen om de opgestelde zandbalans tot en met 2006 te berekenen. Op die manier kan worden nagegaan of de vastgestelde grote export tussen Westerschelde en monding een tijdelijk fenomeen was, of een trend die zich nog steeds voortzet.

De erosie en het transport van het gestorte baggermateriaal in het vak Schaar van Waarde werd in dit rapport gedetailleerd bestudeerd. Voor de stortproef bij de zeewaartse tip van Walsoorden gaf dit zeer betrouwbare resultaten. Deze proef werd dan ook uitgevoerd met het oog op monitoring van de morfologische evoluties van de storting. Voor de stortingen van het onderhoudsbaggerwerk werd getracht om gelijkaardige analyses uit te voeren. Echter het grote gebied waarover de baggerspecie werd gestort, in combinatie met het continue karakter van de stortingen en het effect van zandwinning, maakten de morfologische opvolging van deze storting een complex geheel. Het bestuderen van welbepaalde, lokale stortingen leverde enig inzicht in het erosieproces, doch deze stortingen waren meestal klein van omvang. Bovendien deden zich in de loop van het erosieproces van deze stortingen andere menselijke ingrepen voor, waardoor de natuurlijke morfologische evolutie werd verstoord.

Om het effect van de storting van onderhoudsbaggerwerk in de Schaar van Waarde beter te kunnen bestuderen, zou er zoals bij de proefstorting van Walsoorden een geconcentreerde storting moeten worden uitgevoerd. Belangrijk hierbij is ervoor te zorgen dat er geen andere ingrepen in het studiegebied worden uitgevoerd, zodat de natuurlijke evolutie kan worden gevolgd. Om het verschil tussen storten met sproeikop en de kleptechniek te onderzoeken, is er binnenkort een unieke dataset voorhanden: de stortproef bij Walsoorden werd begin 2006 immers herhaald. Opnieuw werd 500.000 m³ baggerspecie gestort, maar deze keer met behulp van kleppen. Deze storting wordt momenteel uitgebreid gemonitord, zodat opvolging van de morfologische evolutie van de storting mogelijk is.

Borgerhout, juni 2007

ir. Stefaan Ides
onderzoeker

ir. Yves Plancke
onderzoeker

Gezien,

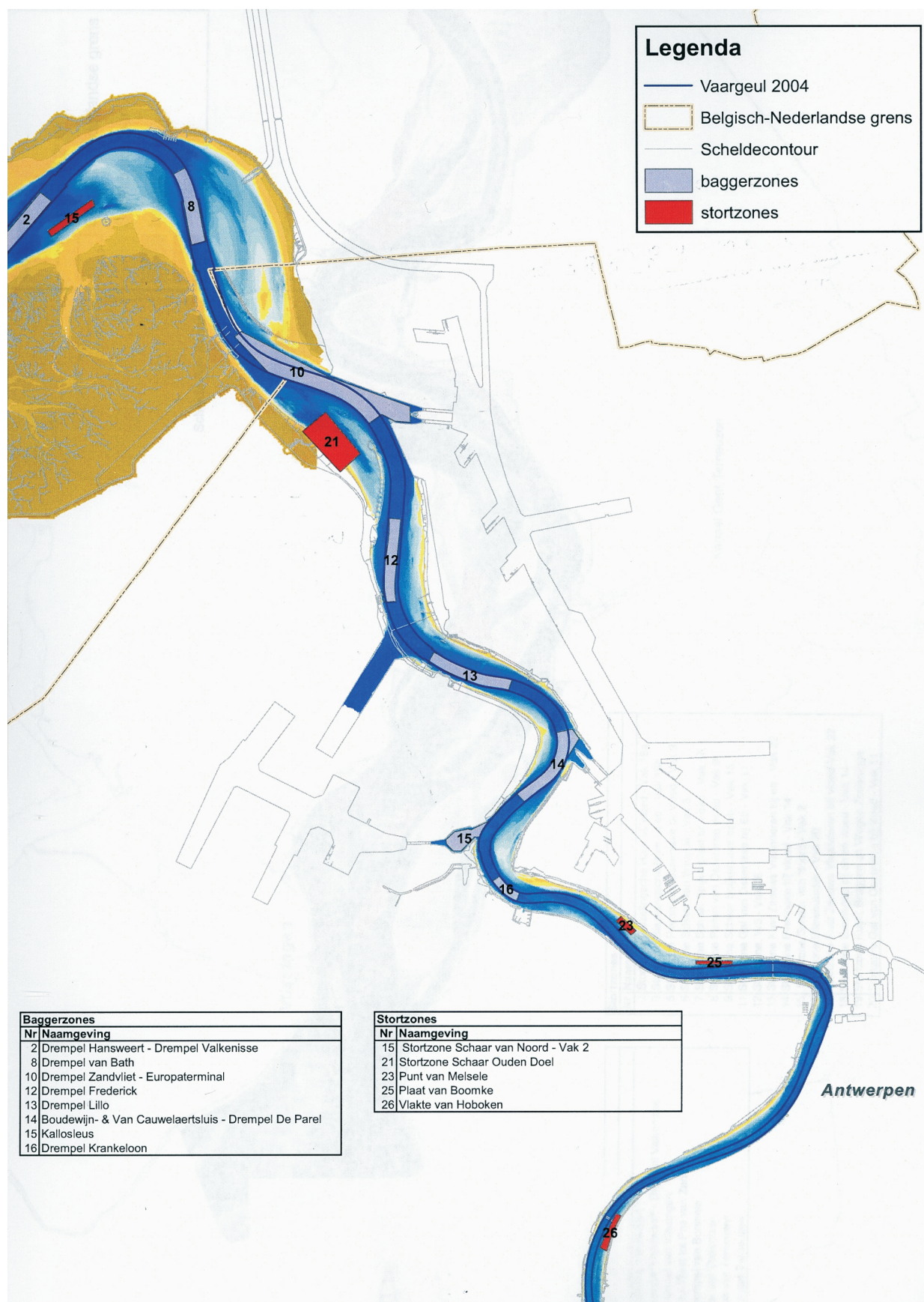
dr.ir. Tom De Mulder
coördinator hydraulisch onderzoek

dr. Frank Mostaert
afdelingshoofd

12 REFERENTIES

- [1] www.ontwikkelingsschets.be (ProSes 2010)
- [2] Uit den Boogaard L.Z., "Resultaten zandbalans Westerschelde 1955-1993", IMAU rapport R95-08, Universiteit Utrecht, 1995
- [3] Isreal C. & Huijs S., "Zandbalans Westerschelde 1994-1997", notitie NWL – 98.15, 1998.
- [4] De Jong J.E.A., "Zandbalans Westerschelde en monding periode 1955-1999", notitie NWL – 00.16, augustus 2000
- [5] Nederbragt G., Liek G.J., "Beschrijving zandbalans Westerschelde en monding", rapport RIKZ/2004.020, juni 2004
- [6] Soresma-Haecon, "Actualisatie van de zandbalans van de Zee- en Westerschelde", september 2006
- [7] Technische Schelde Commissie, "Langetermijnvisie Schelde-estuarium", januari 2001
- [8] PAET, "Improving navigation conditions in the Westerschelde and managing its estuarine environment – How to harmonize accessibility, safety and naturalness", januari 2001
- [9] PAET, "A strategy for managing the Westerschelde's morphology – An addendum to the final report", mei 2001
- [10] Waterbouwkundig Laboratorium, "M678/1 Alternative dumping strategy Walsoorden – Results of physical & numerical modelling", november 2003
- [11] Second Opinion, "An alternative strategy for dumping in the Scheldt estuary – Comments of the expert team", oktober 2003
- [12] Waterbouwkundig Laboratorium, "M754/2C Alternatieve stortstrategie Westerschelde – Proefstorting Walsoorden – Eindevaluatie monitoring", april 2006
- [13] Jeuken C., Tanczos I., Wang Z.B., "Evaluatie van het beleid voor vaargeulonderhoud en zandwinning sinds de tweede vaargeulverdieping op basis van veldwaarnemingen en het verbeterde Cellenconcept Westerschelde", rapport Z3467, maart 2003
- [14] Waterbouwkundig Laboratorium, "M754/2B Alternatieve stortstrategie Westerschelde – Proefstorting Walsoorden – Verslag 13u meetcampagnes", mei 2007
- [15] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, afdeling uitvoering, "Presentatie meetresultaten: debiet, sediment & osm-meting 0209m0501", notitie ZLMD-05.N.016, februari 2006
- [16] Allen J.R.L., "Current ripples: their relation to patterns of water and sediment motion", North-Holland publishing company, 1968

BIJLAGE A : FIGUREN BUITEN DE TEKST



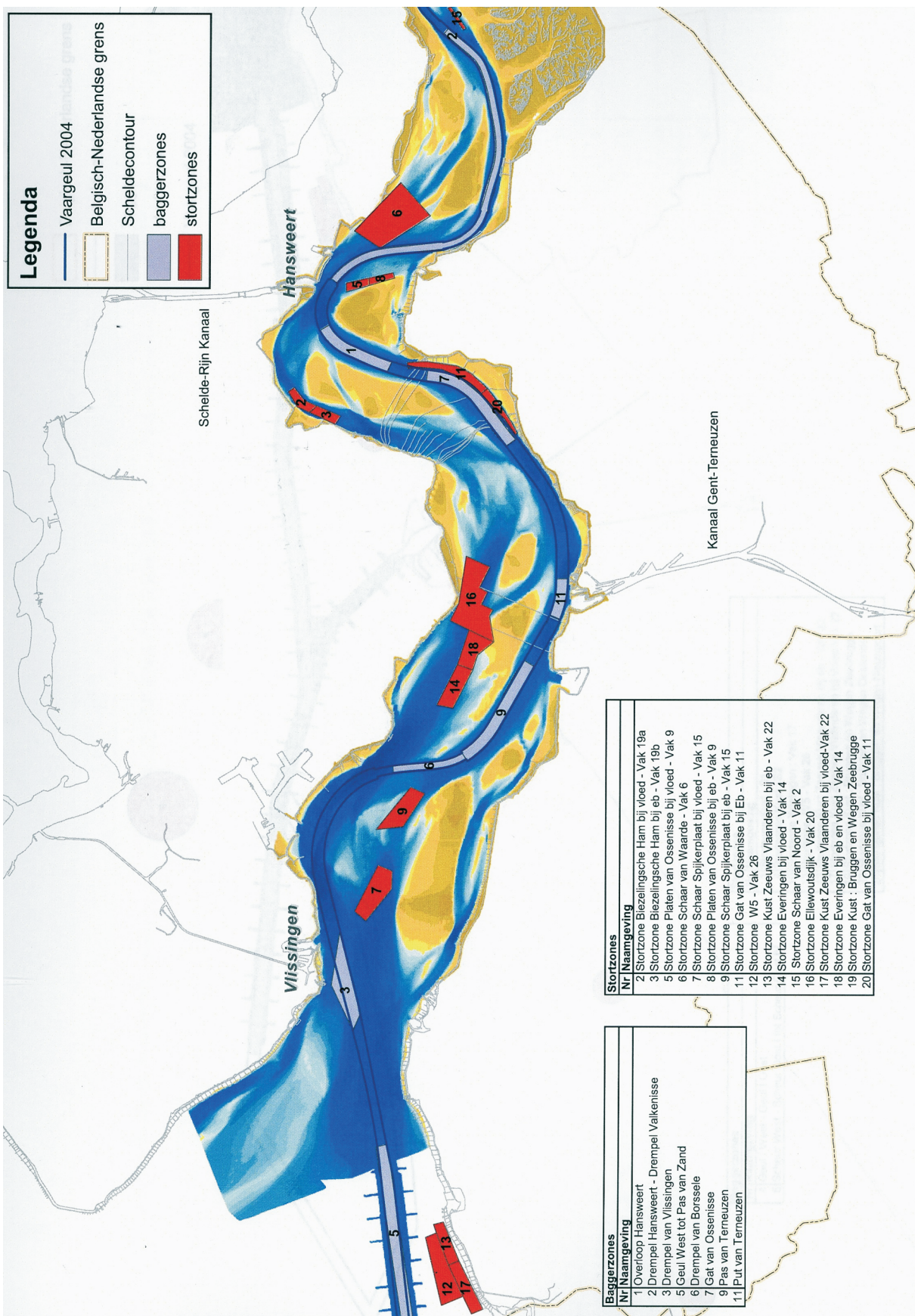
Bagger- en stortlocaties in de Beneden Zeeschelde



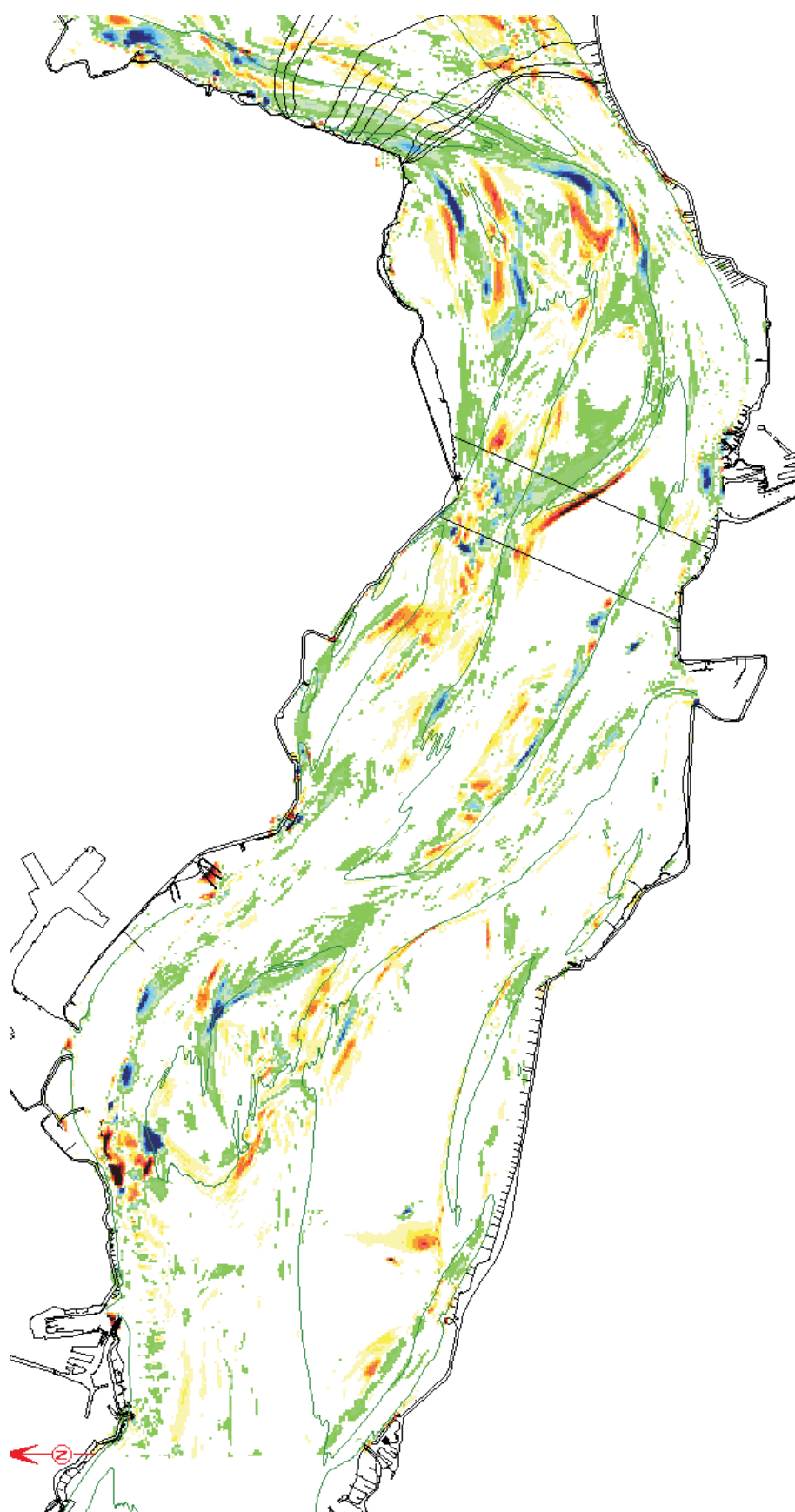
WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 1



Bagger- en stortlocaties in de Westerschelde



Westerschelde west - Totale erosie-sedimentatie 2000-2001

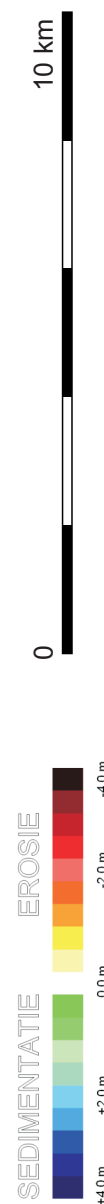
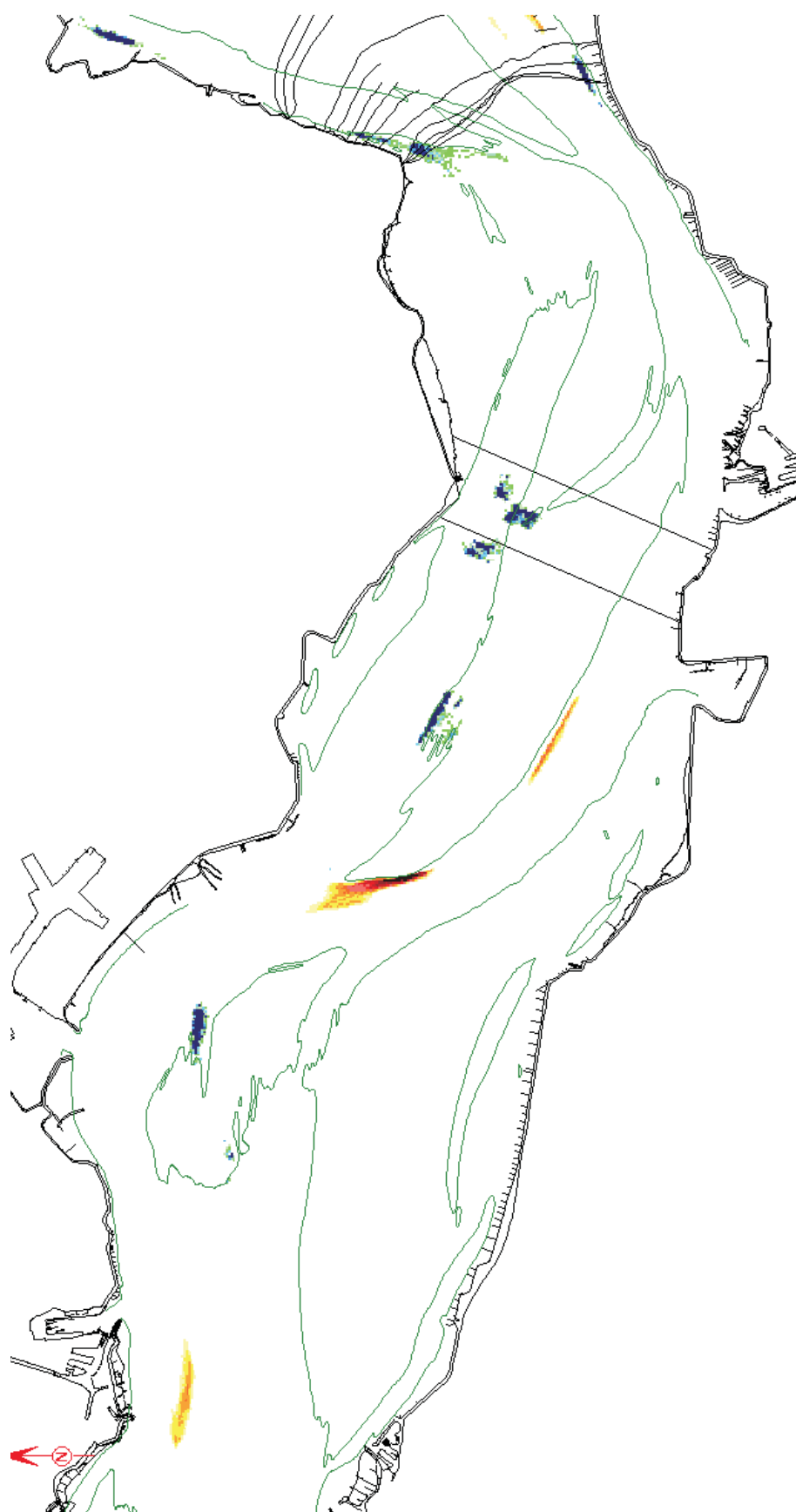
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 3



Westerschelde west - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2000-2001

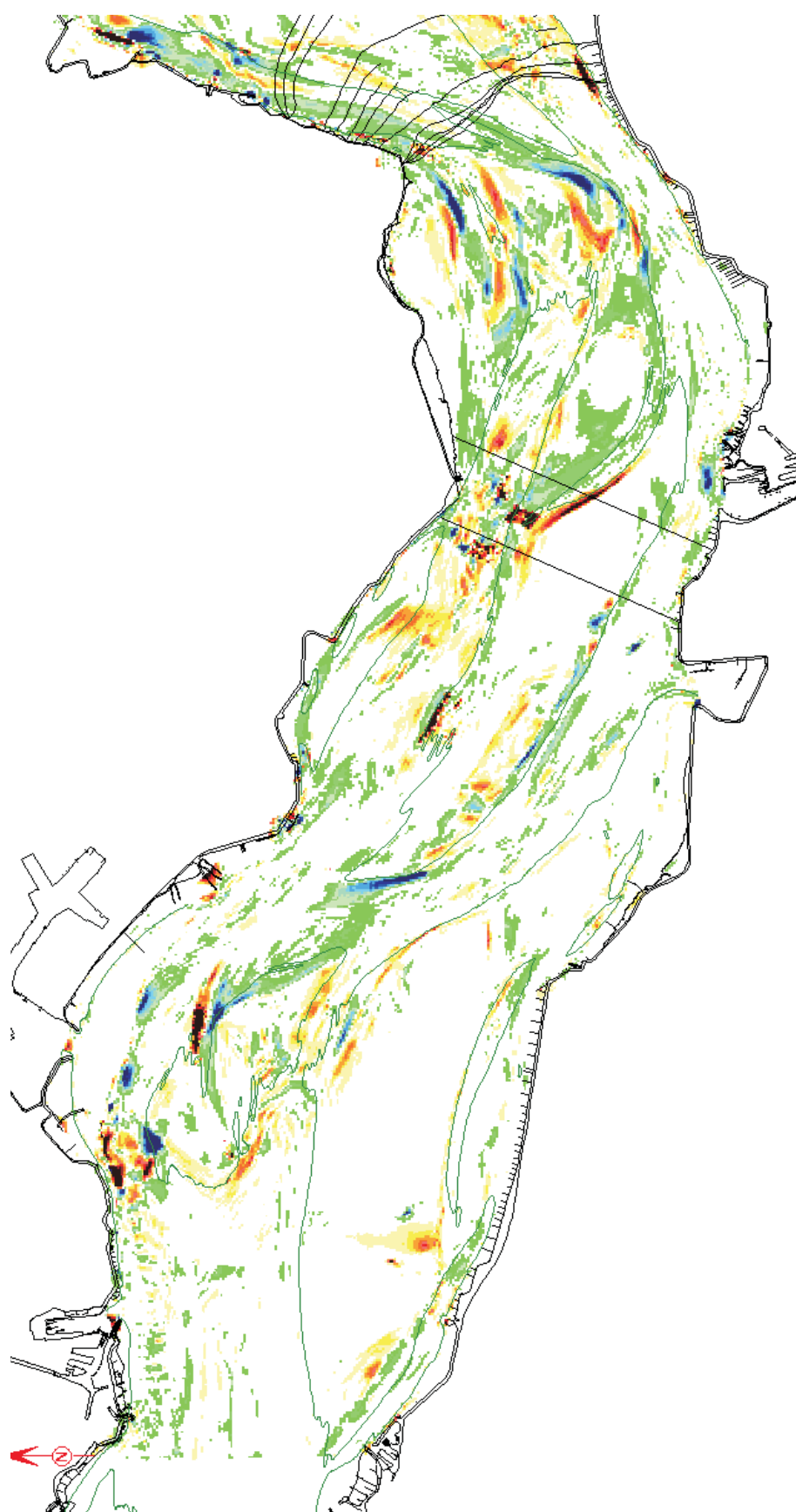
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 4



Westerschelde west - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2000-2001

— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 5



Westerschelde west - Totale erosie-sedimentatie 2001-2002

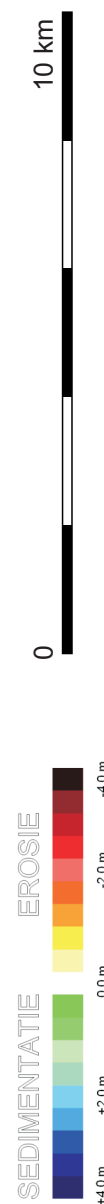
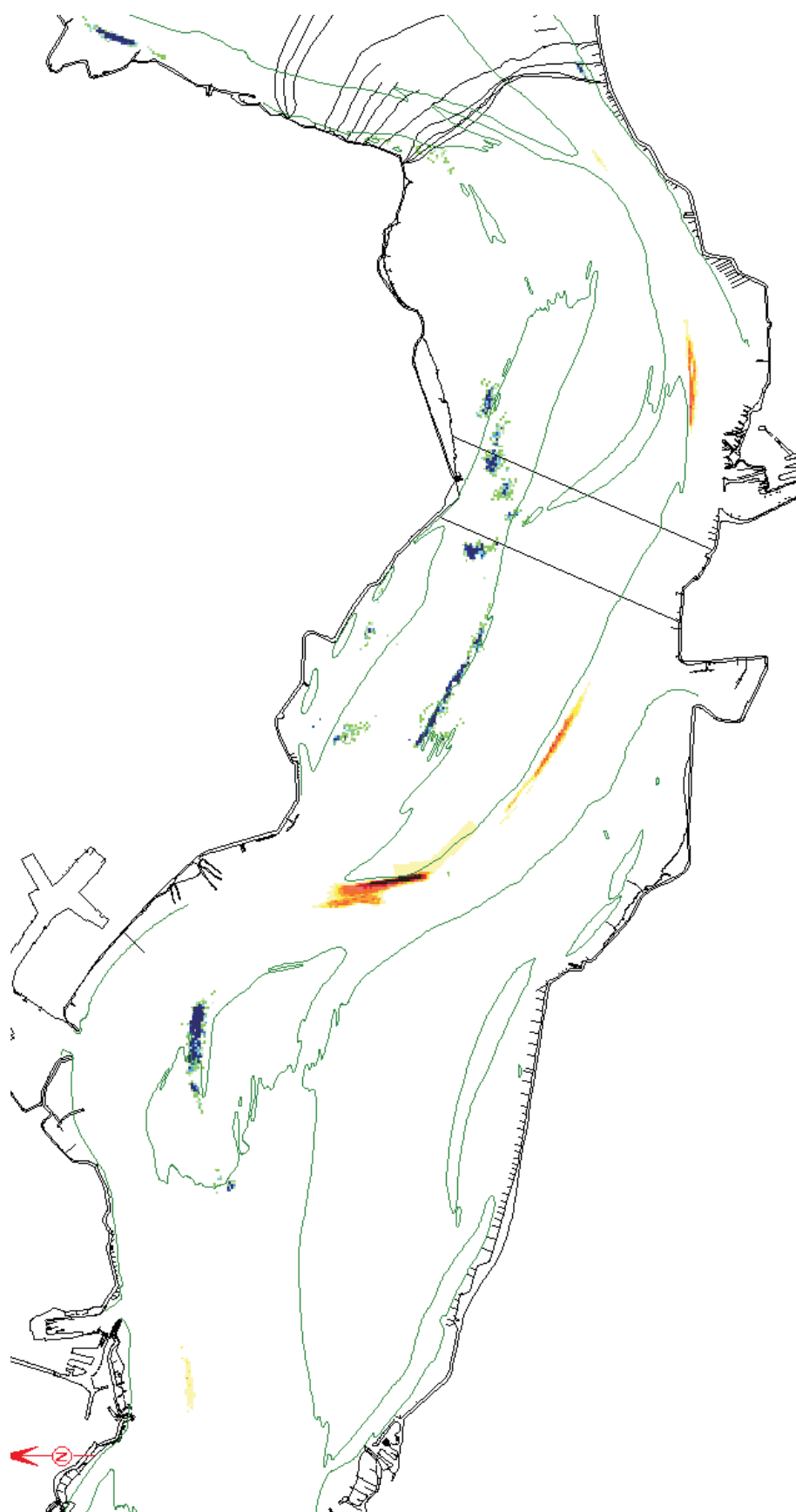
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 6



Westerschelde west - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2001-2002

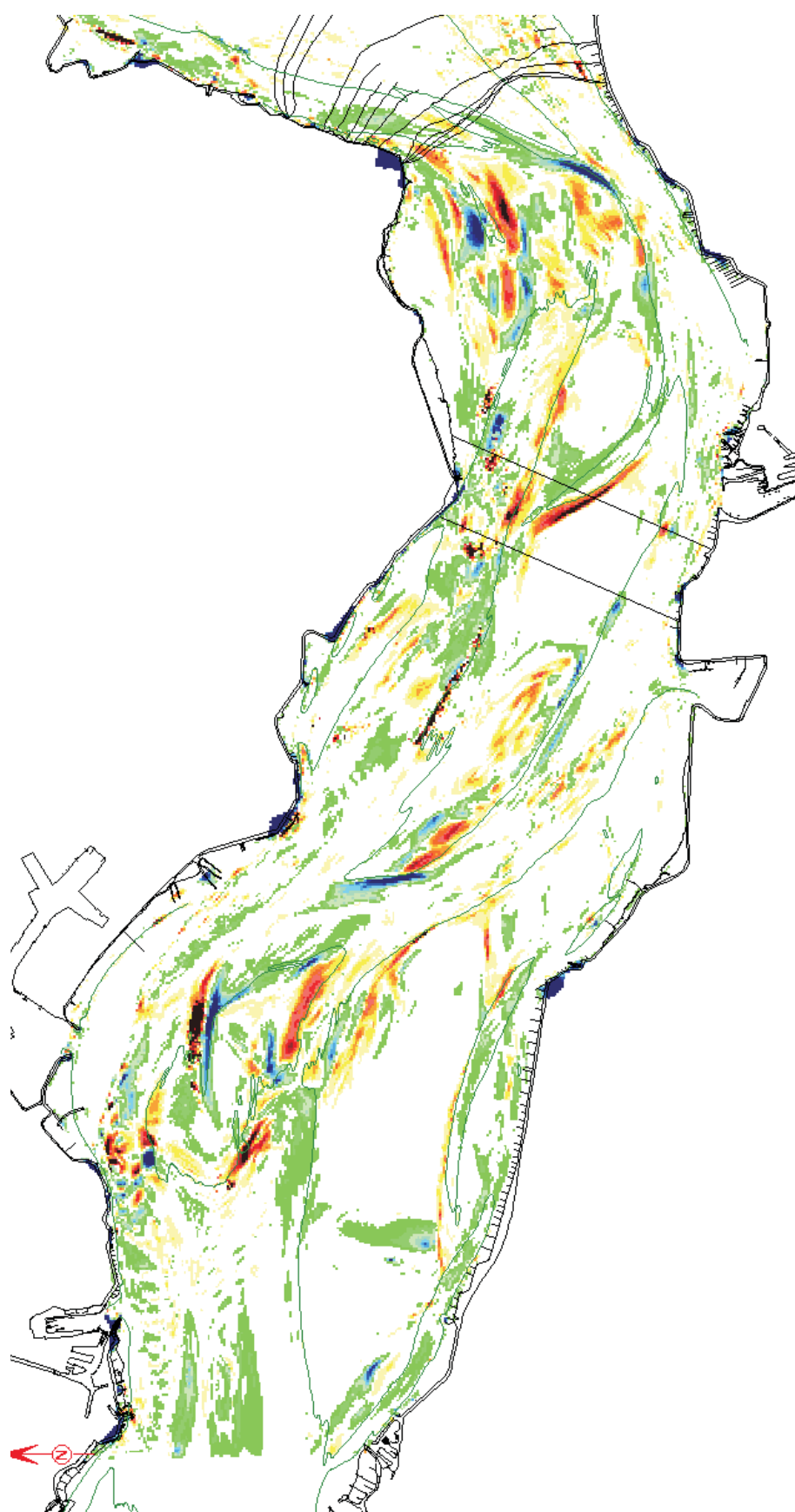
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 7



Westerschelde west - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2001-2002

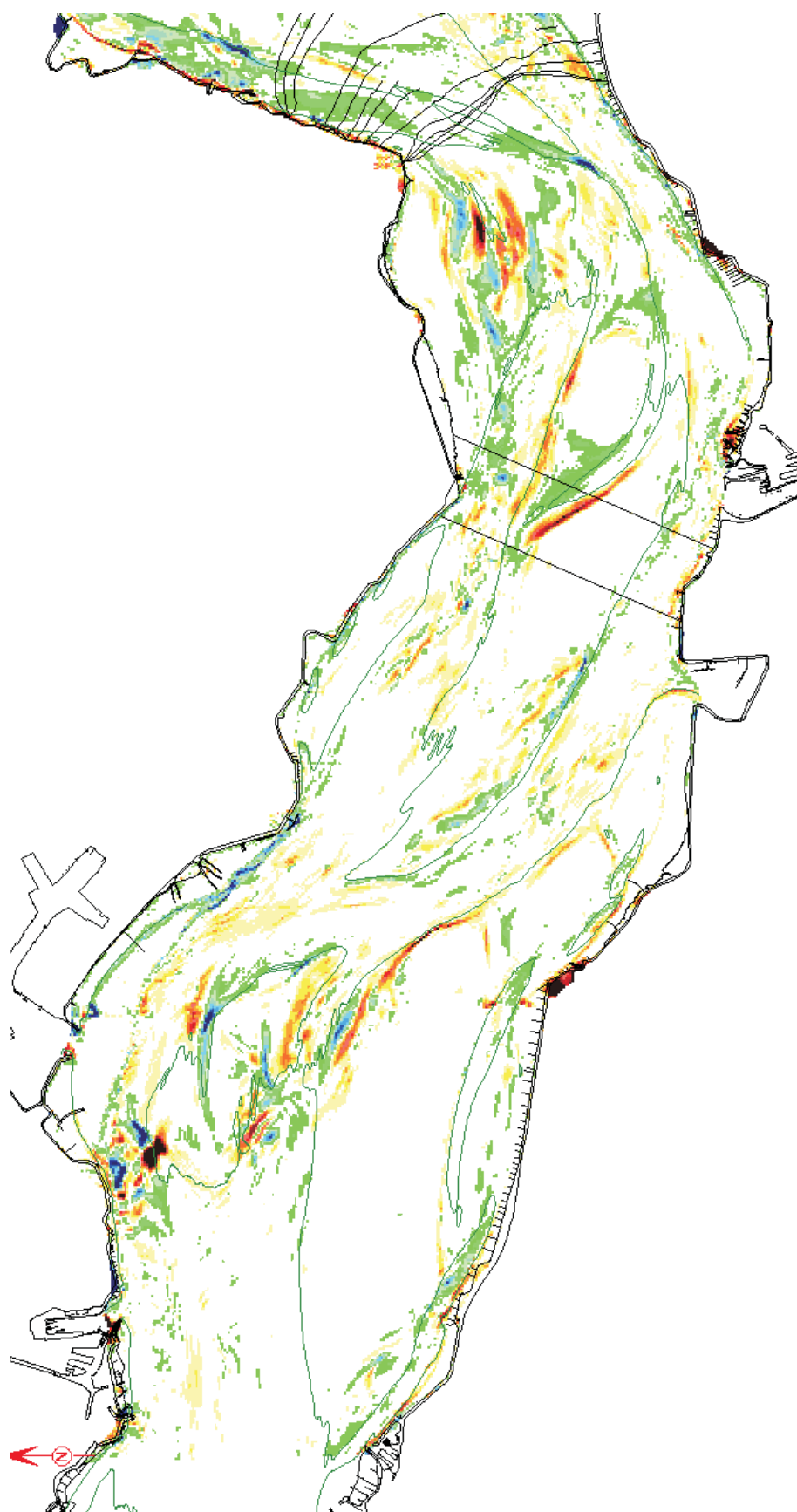
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 8



Westerschelde west - Totale erosie-sedimentatie 2002-2003

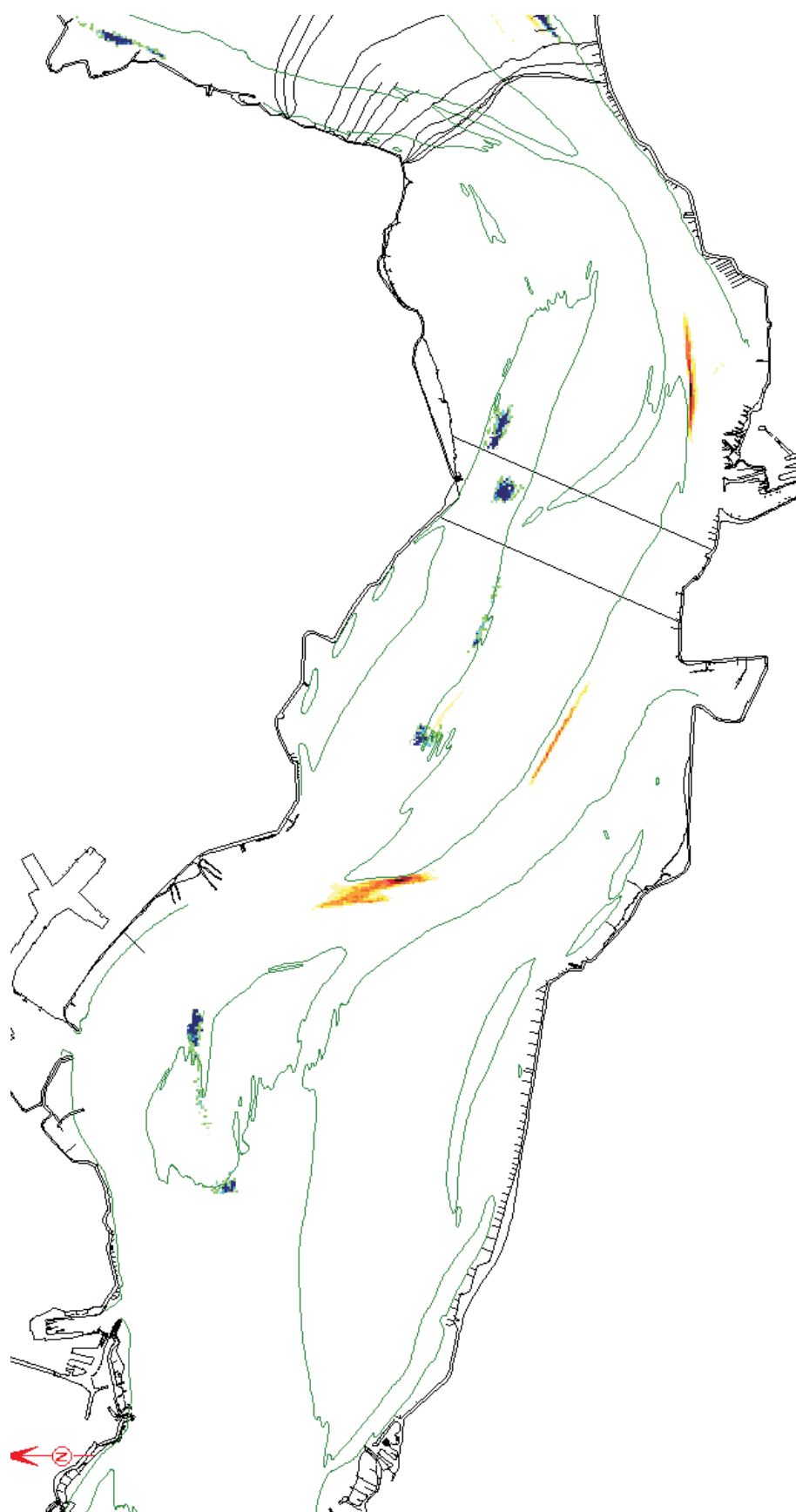
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 9



Westerschelde west - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2002-2003

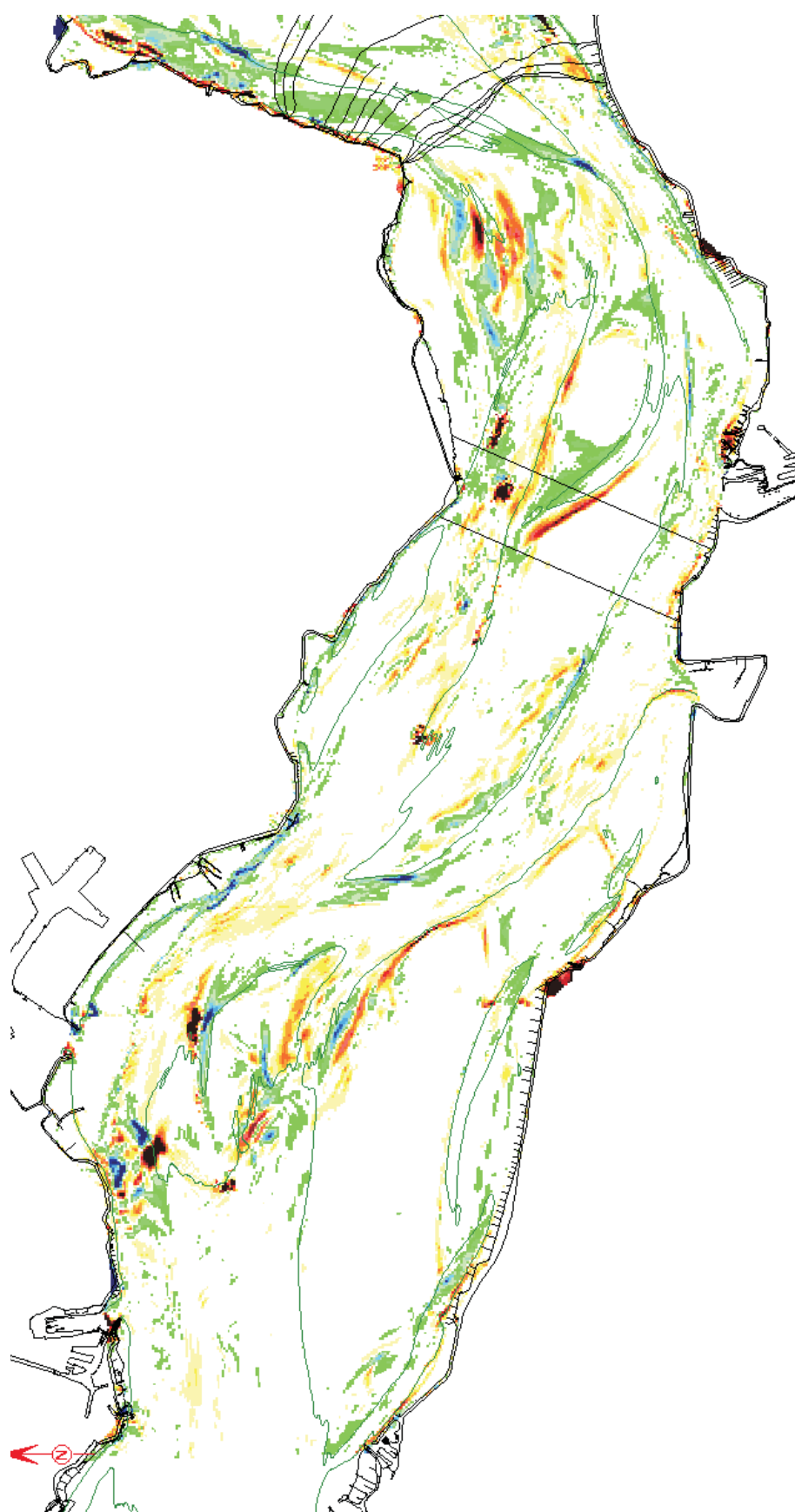
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 10



Westerschelde west - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2002-2003

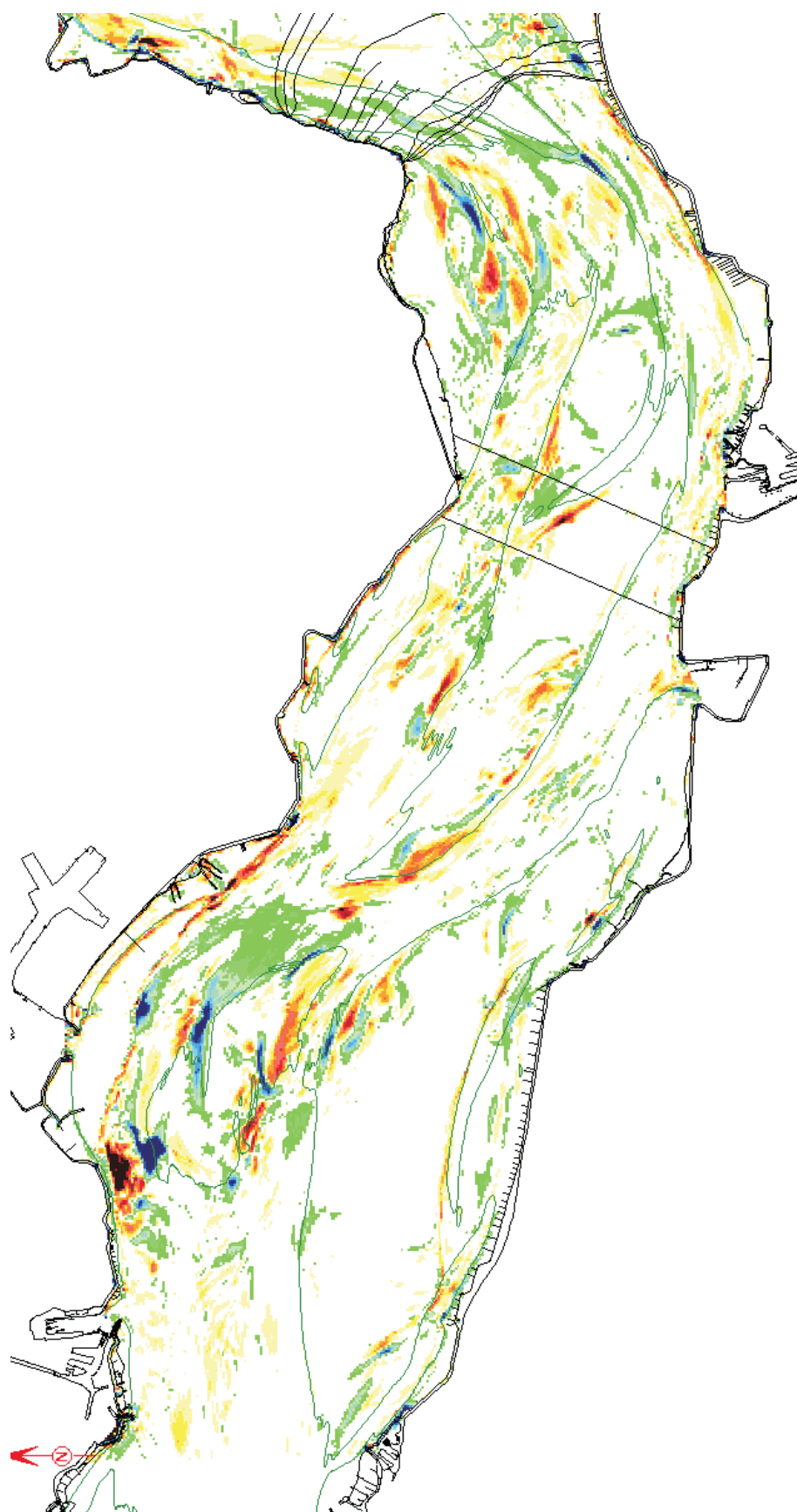
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 11



Westerschelde west - Totale erosie-sedimentatie 2003-2004

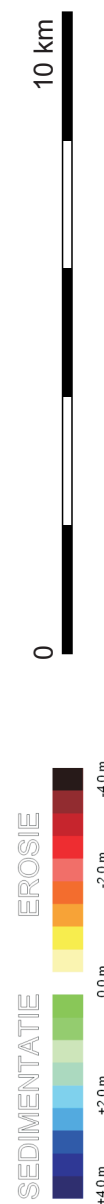
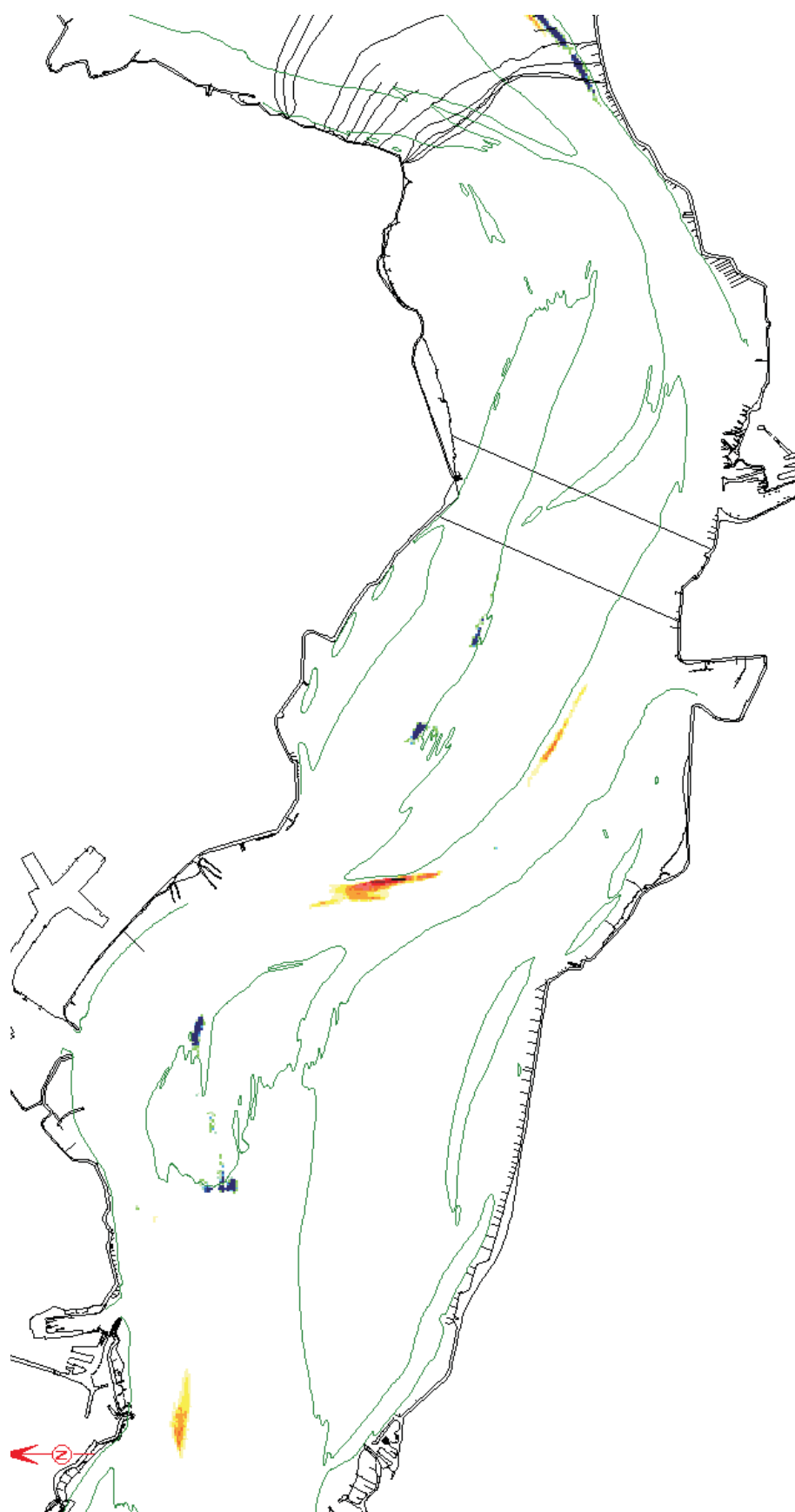
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 12



Westerschelde west - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2003-2004

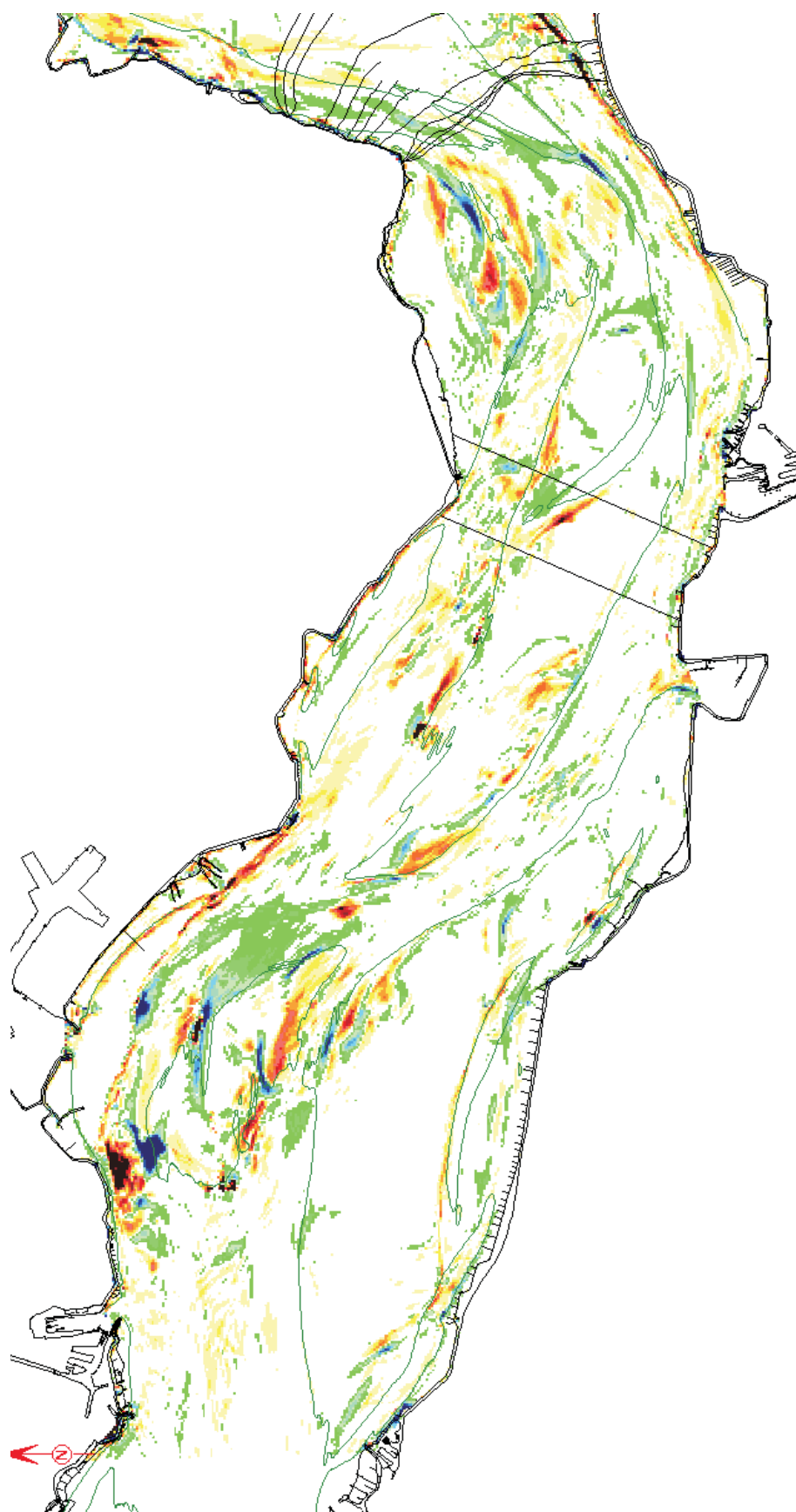
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 13



Westerschelde west - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2003-2004

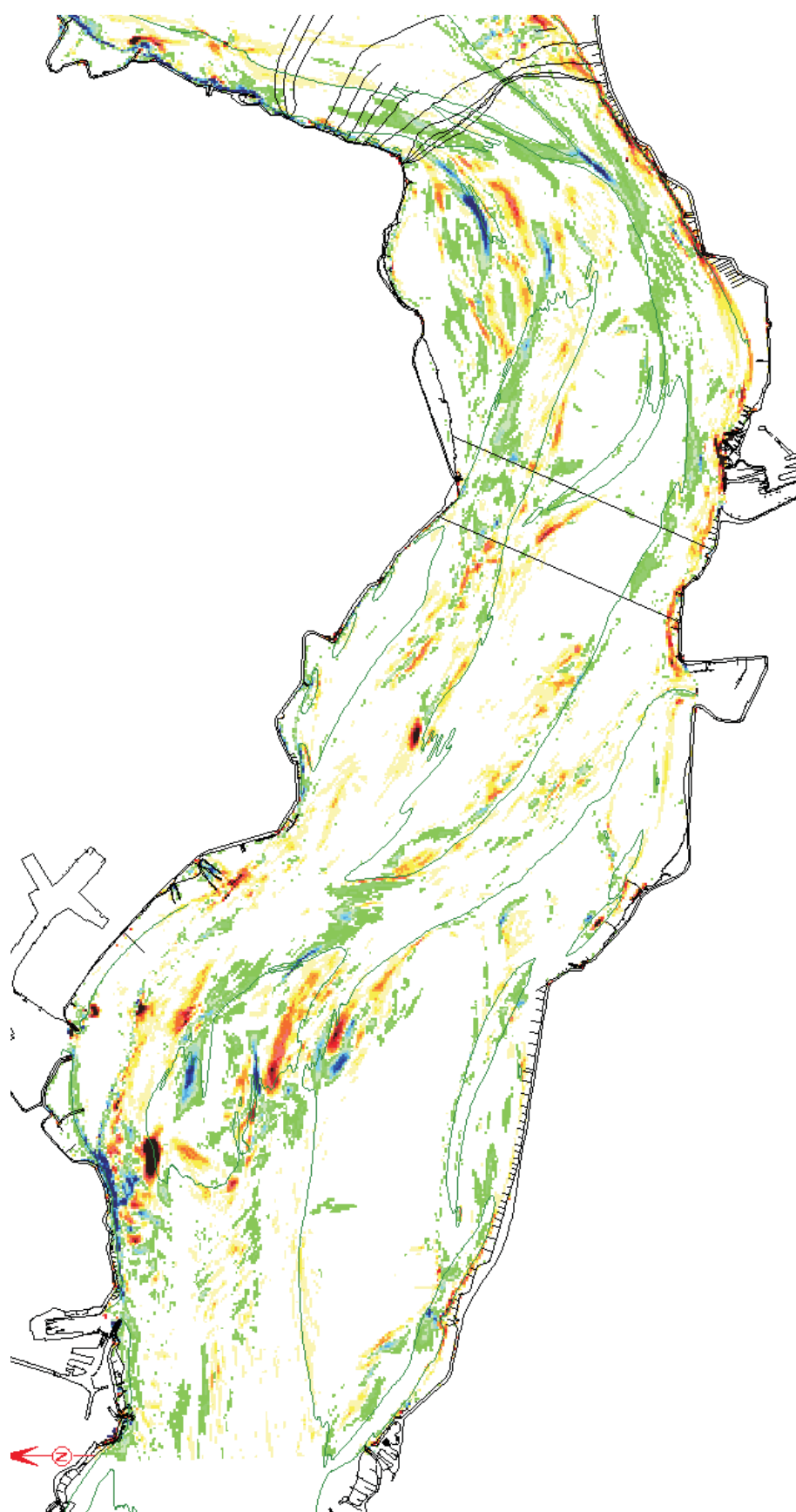
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 14



Westerschelde west - Totale erosie-sedimentatie 2004-2005

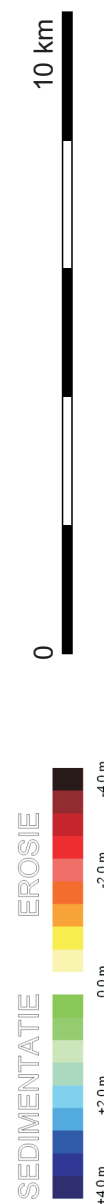
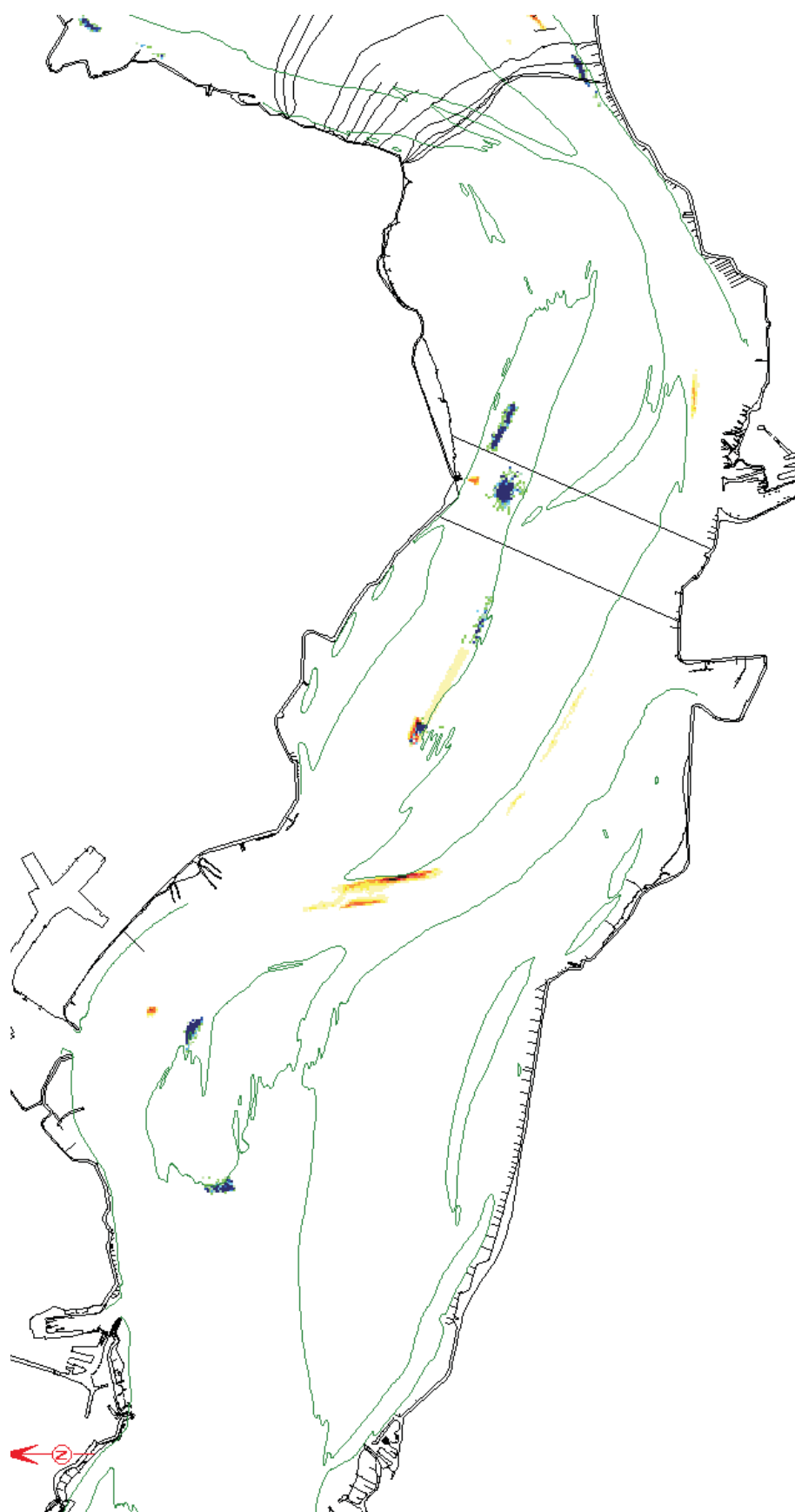
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 15



Westerschelde west - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2004-2005

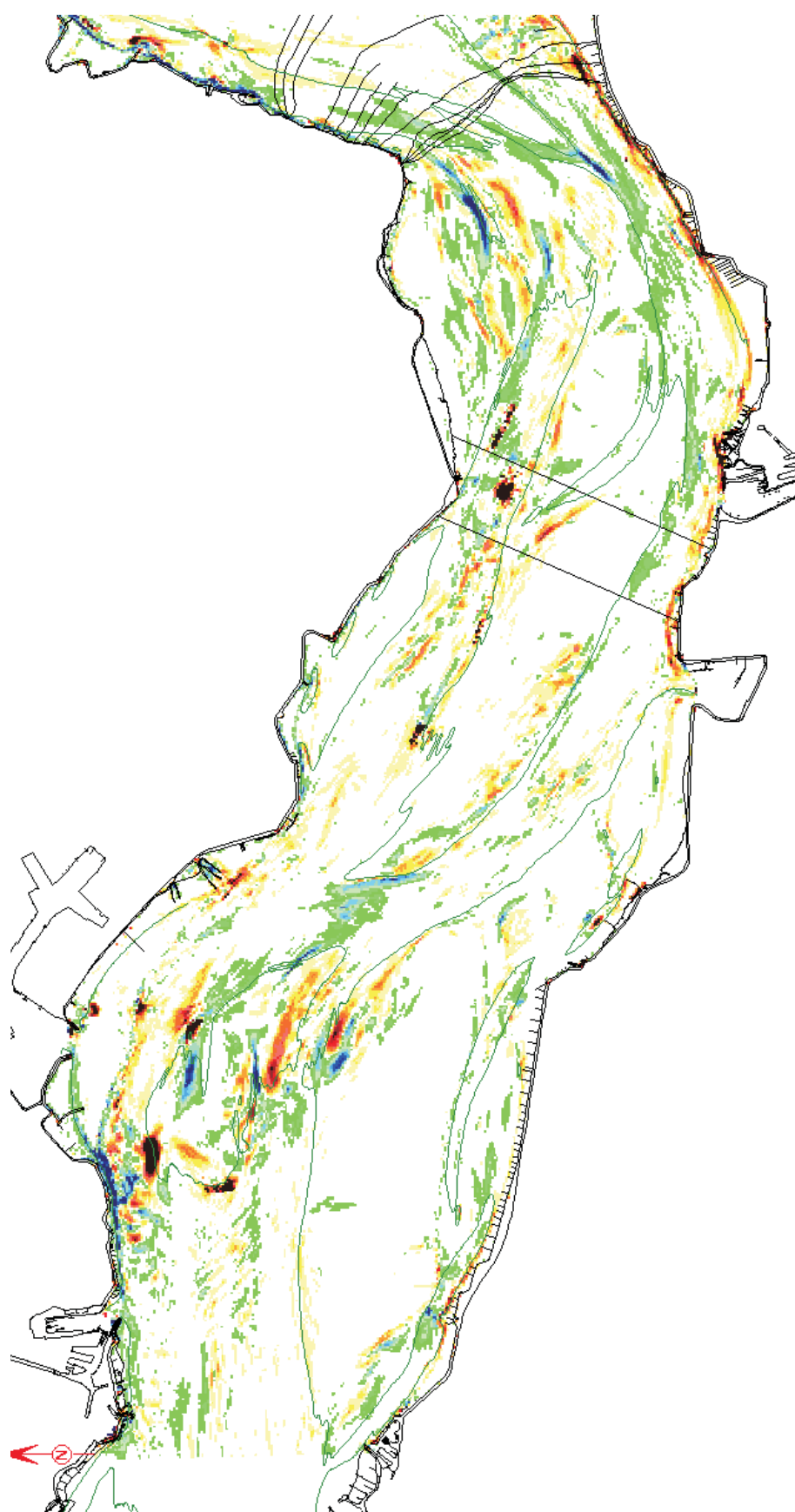
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 16



Westerschelde west - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2004-2005

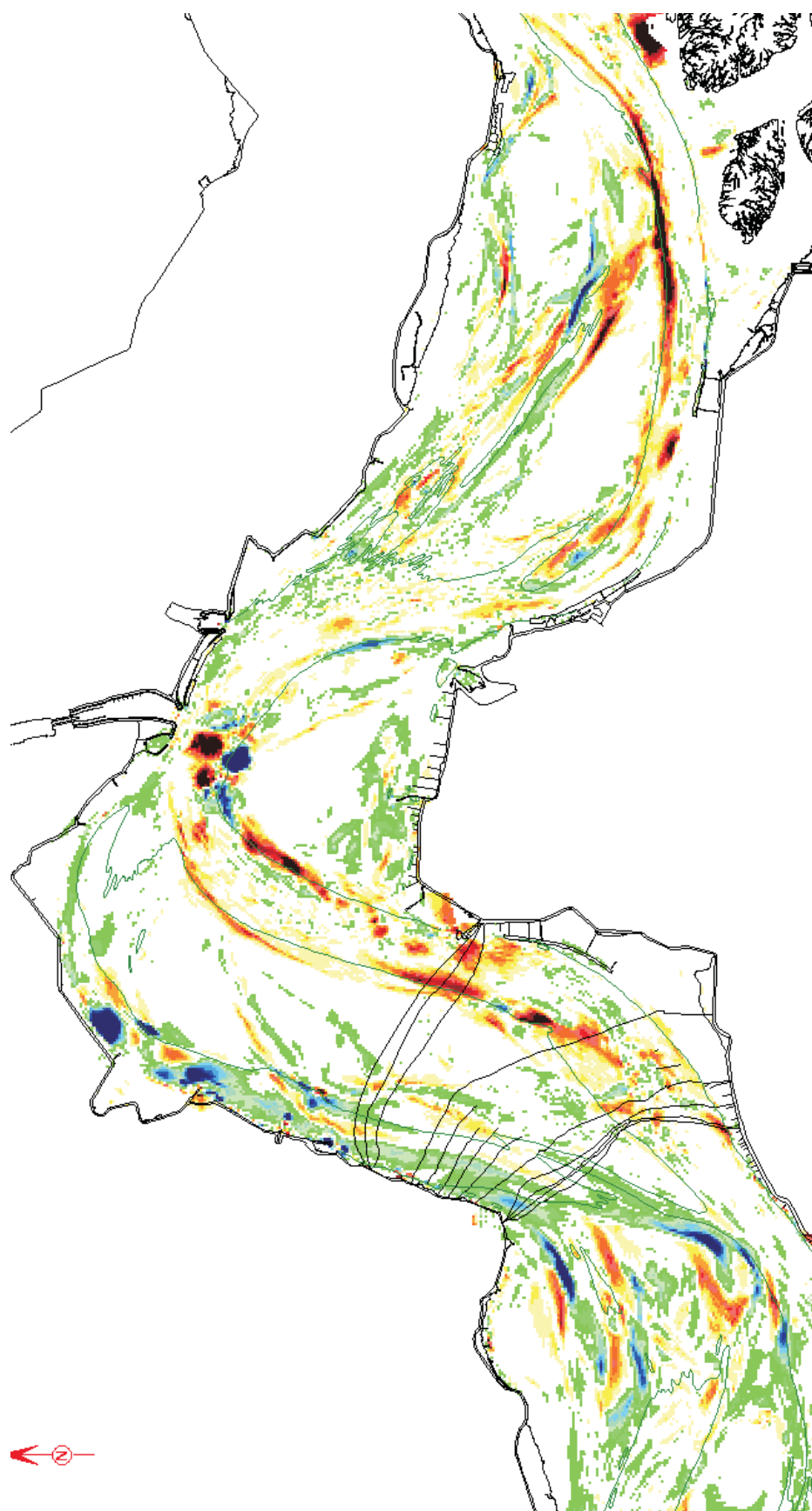
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 17



Westerschelde midden - Totale erosie-sedimentatie 2000-2001

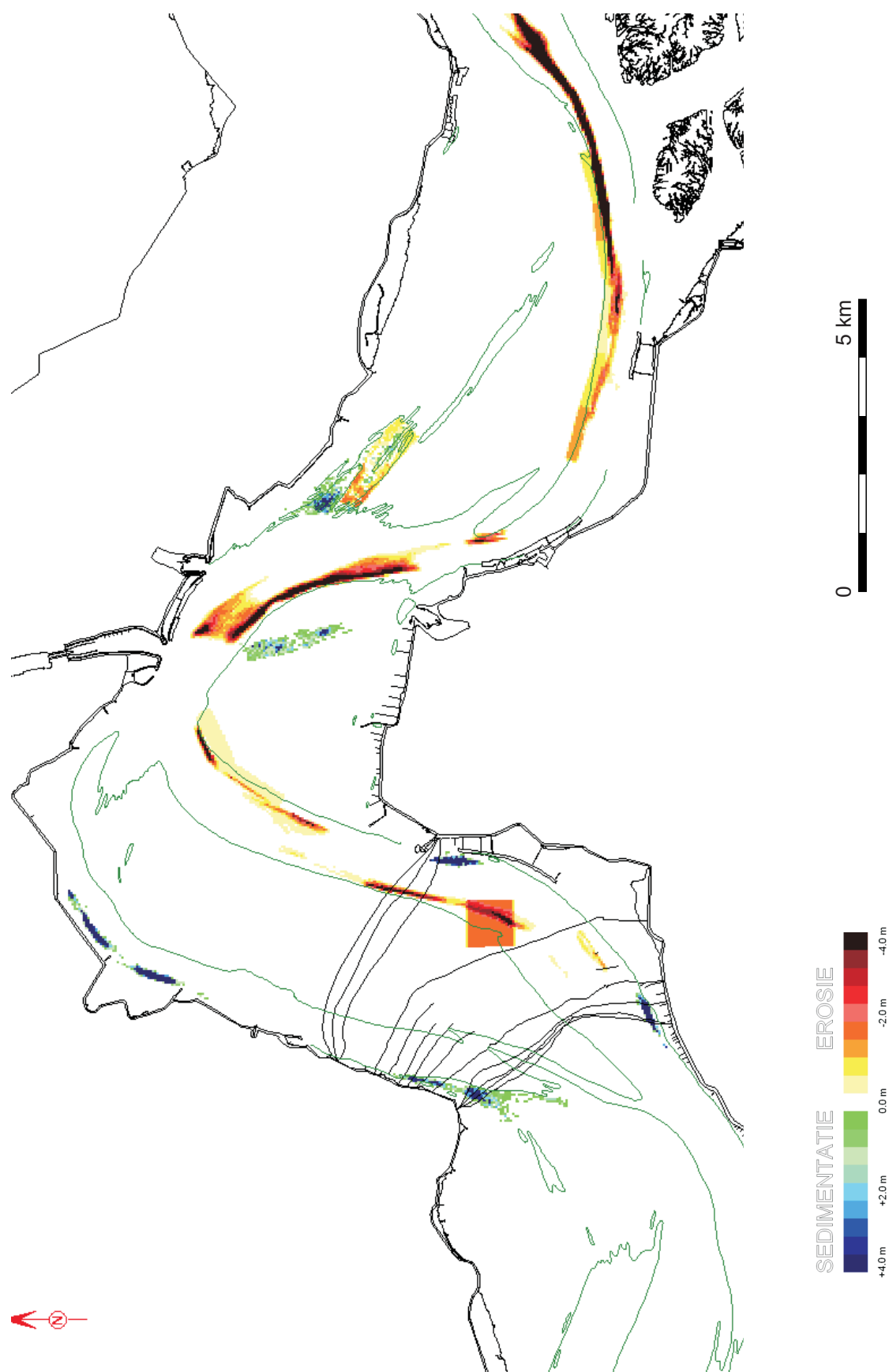
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 18



Westerschelde midden - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2000-2001

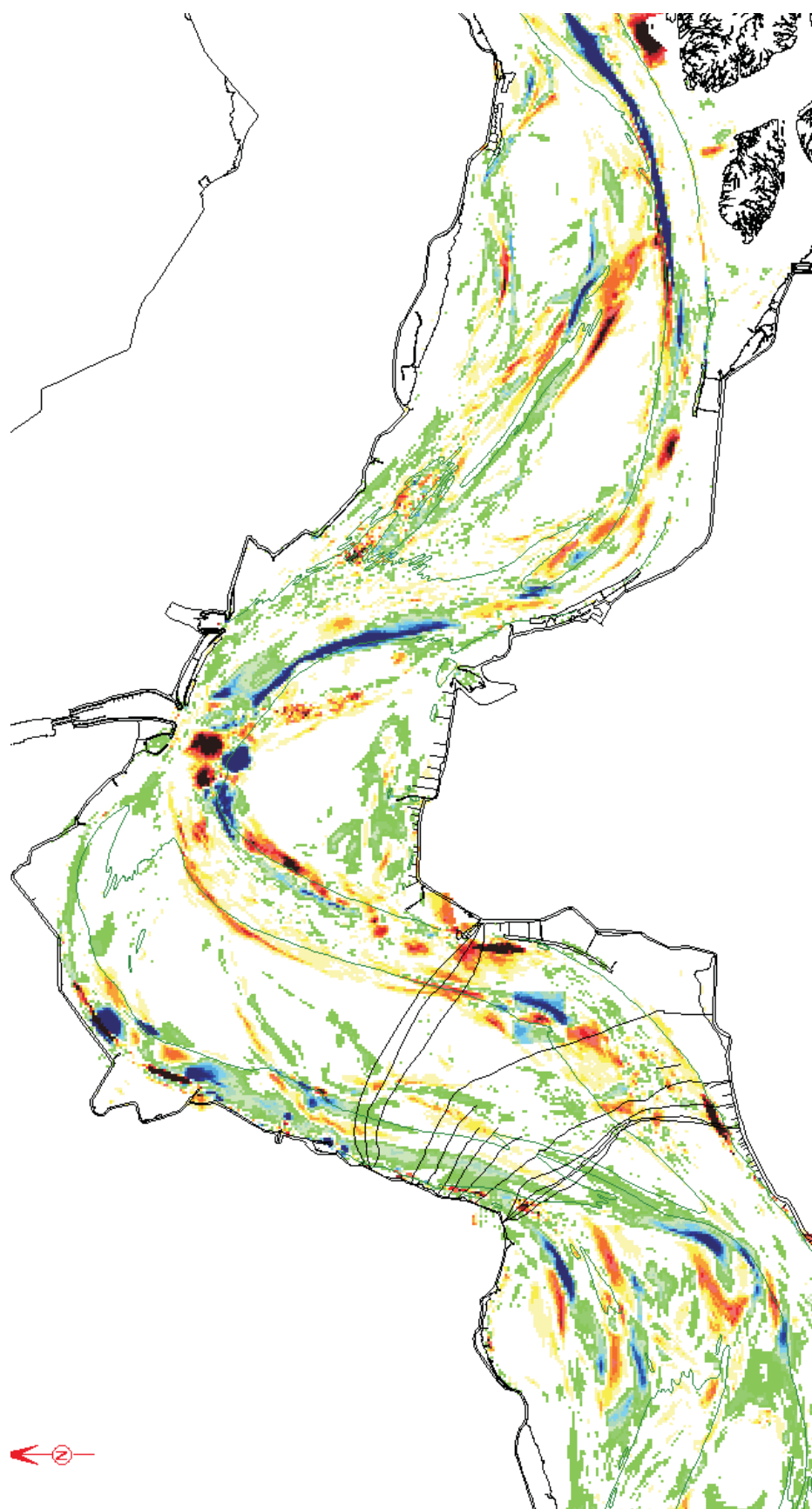
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 19



Westerschelde midden - Natuurlijke erosie-sedimentatie
2000-2001

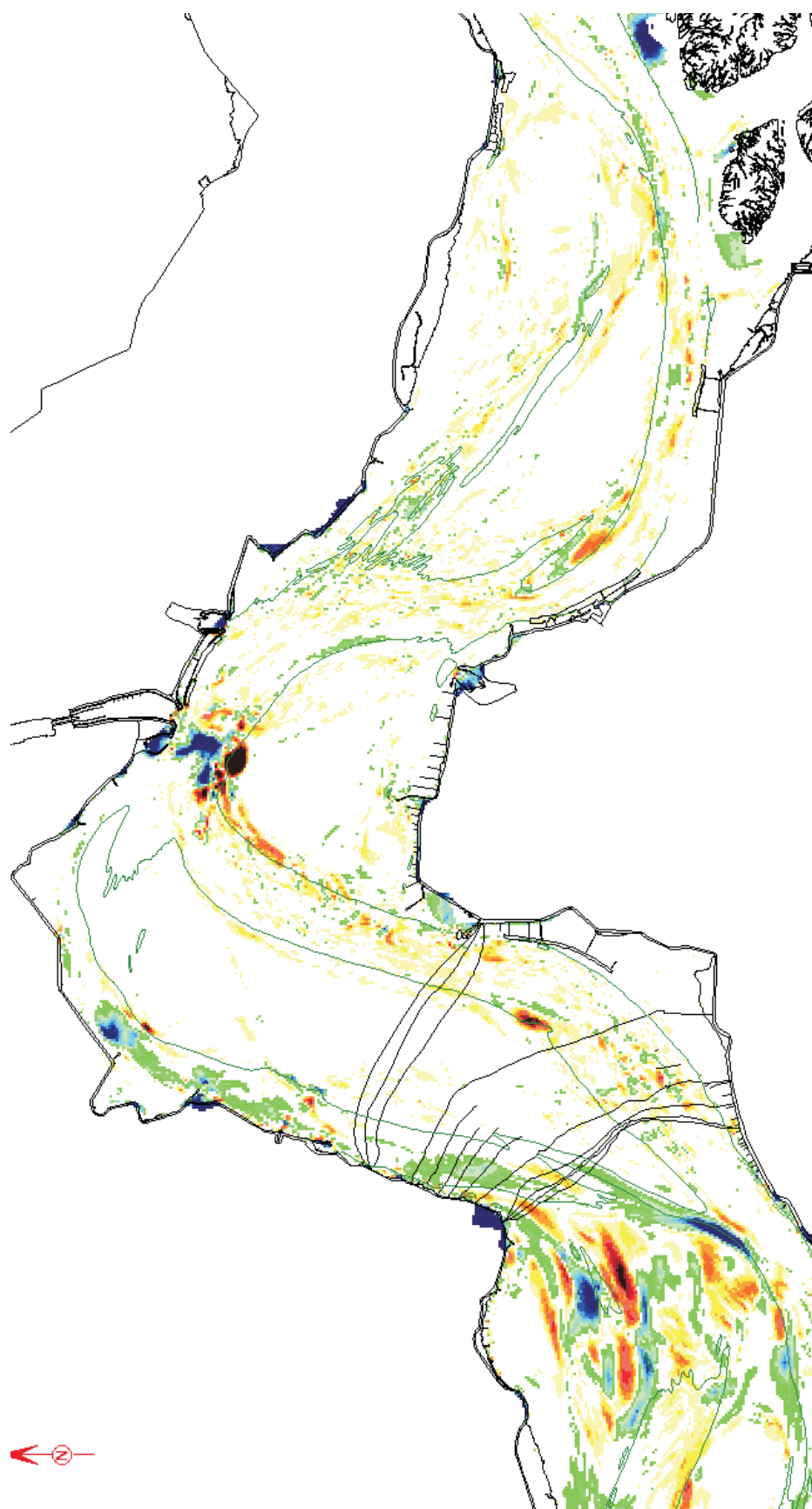
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 20



Westerschelde midden - Totale erosie-sedimentatie 2001-2002

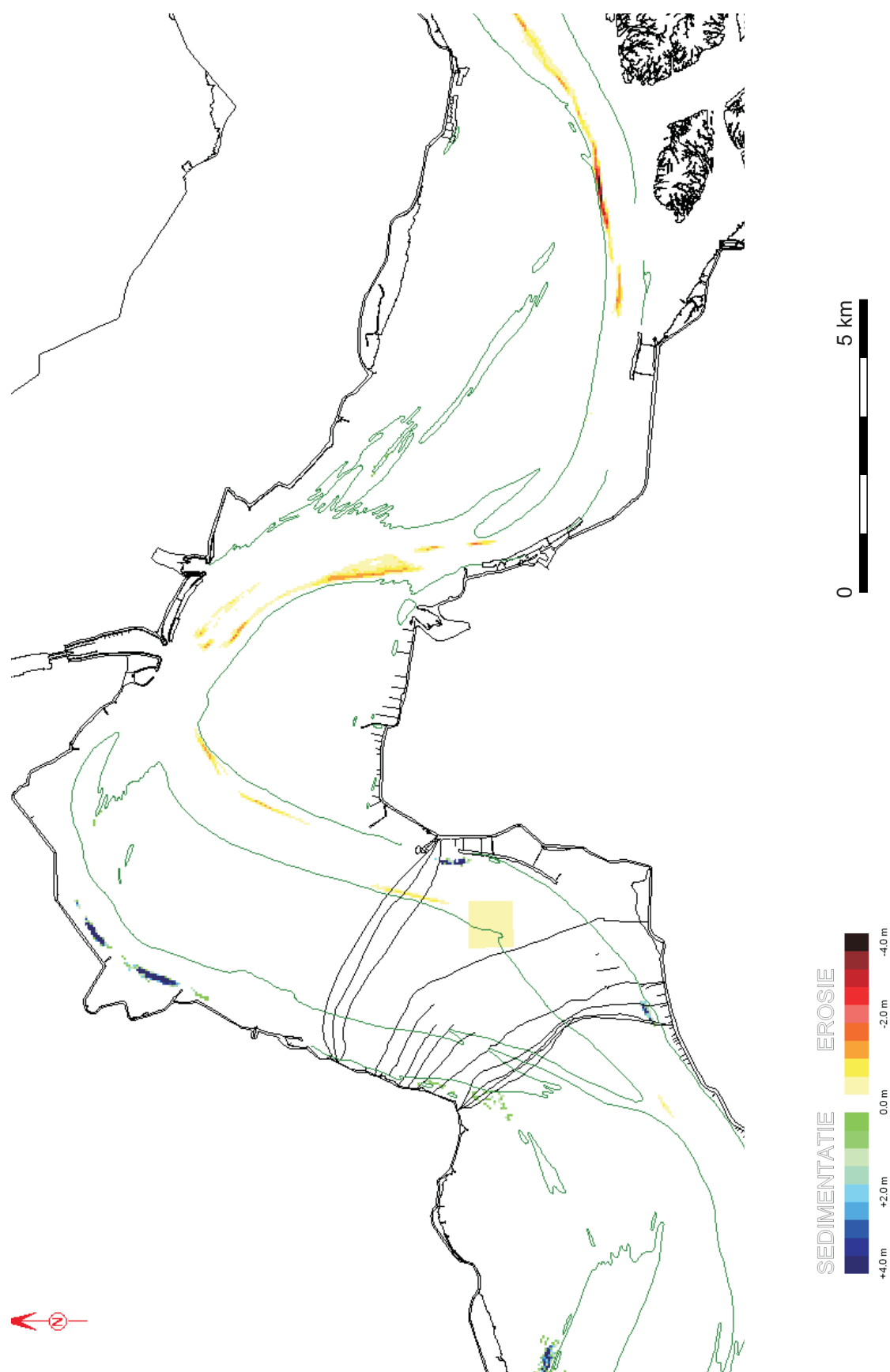
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 21



Westerschelde midden - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2001-2002

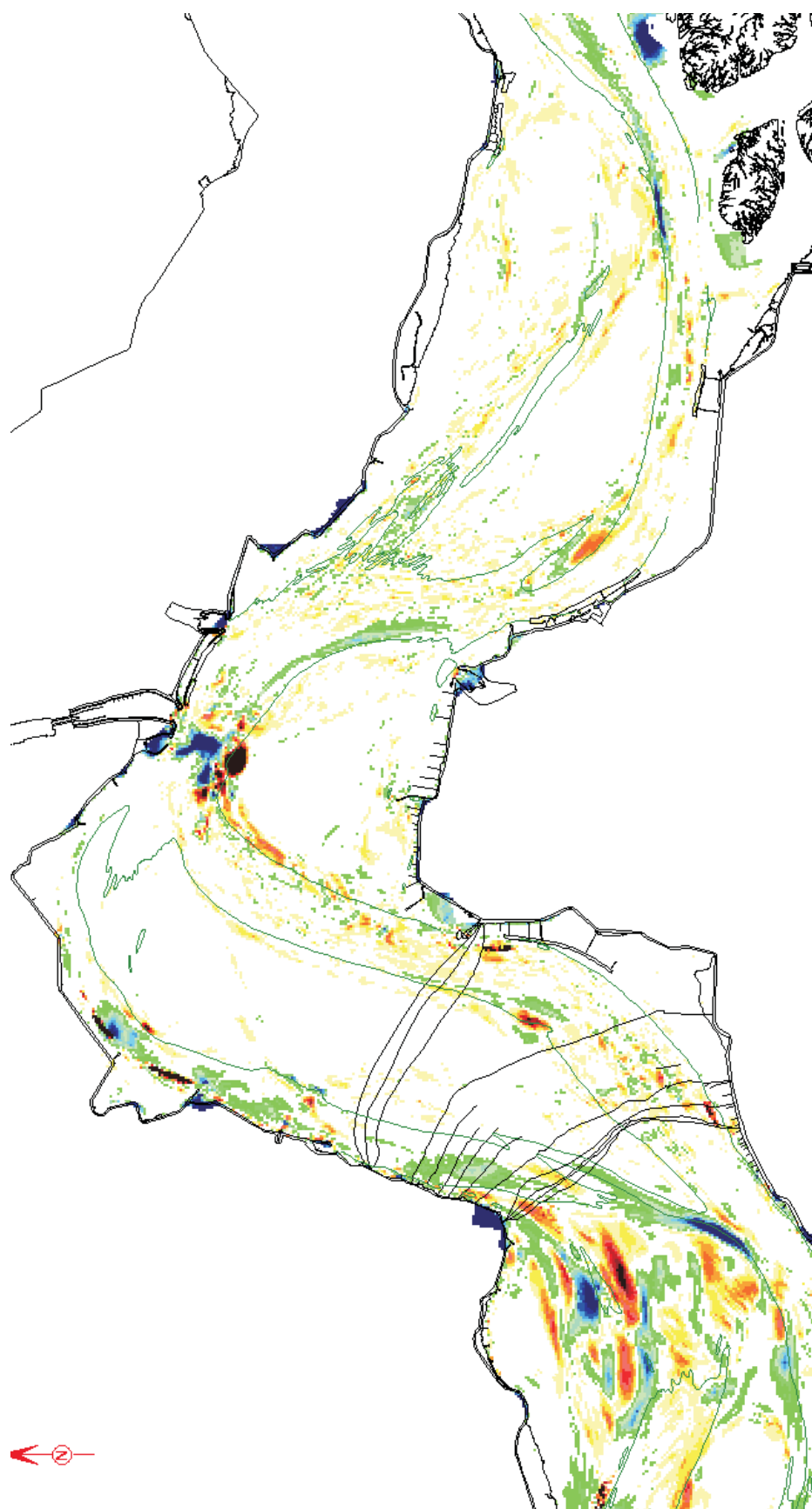
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 22



Westerschelde midden - Natuurlijke erosie-sedimentatie
2001-2002

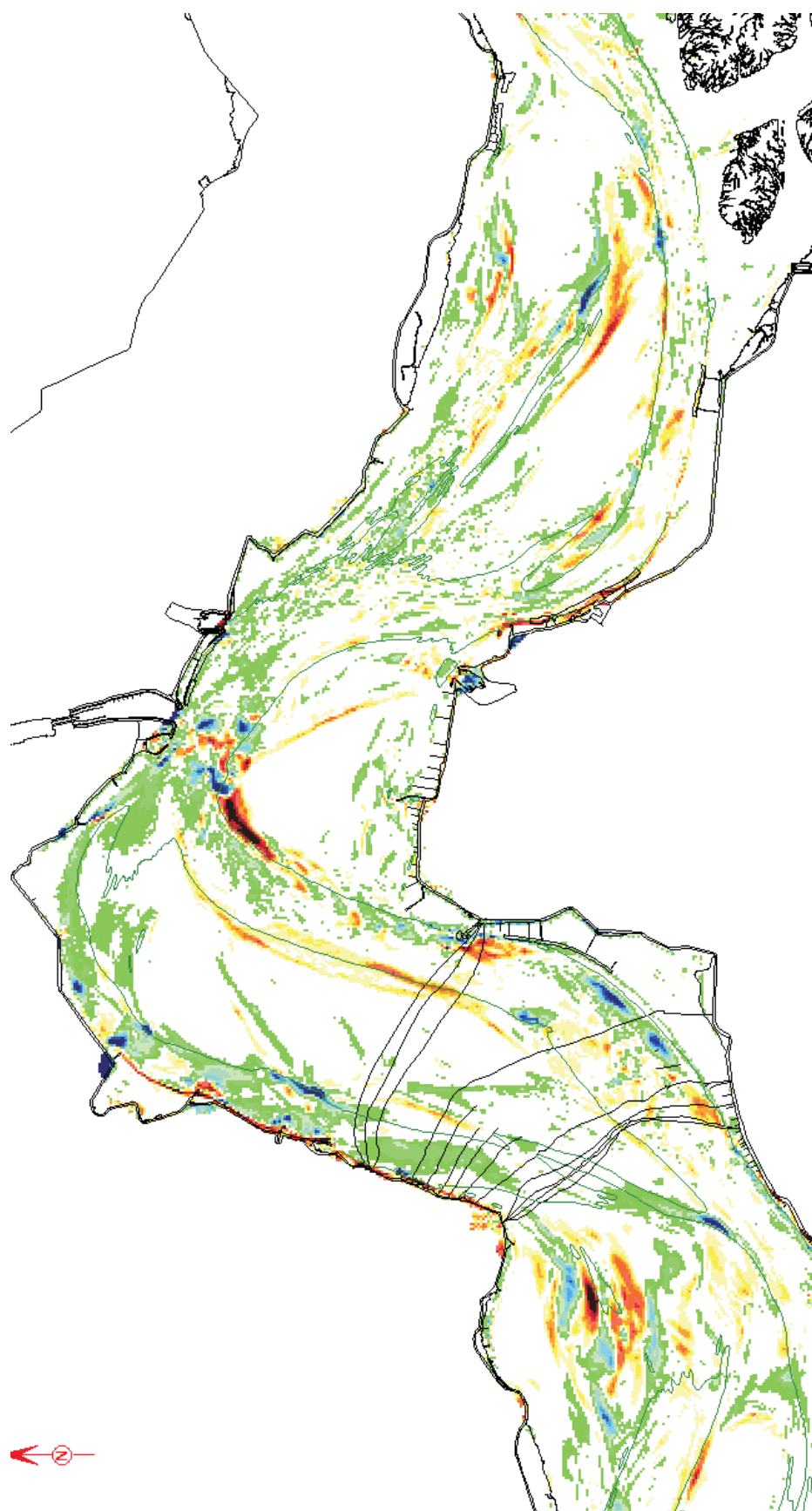
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 23



Westerschelde midden - Totale erosie-sedimentatie 2002-2003

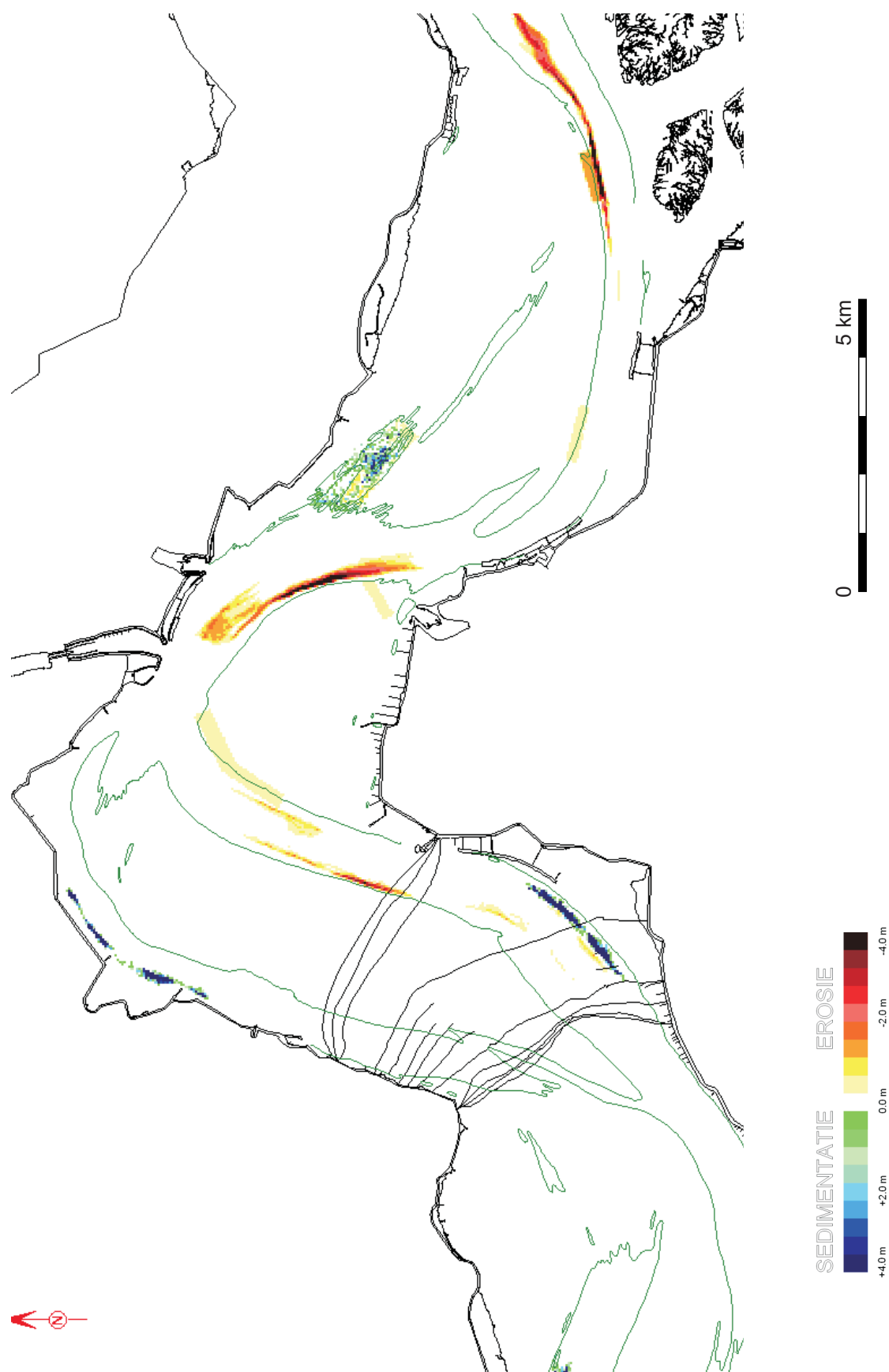
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 24



Westerschelde midden - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2002-2003

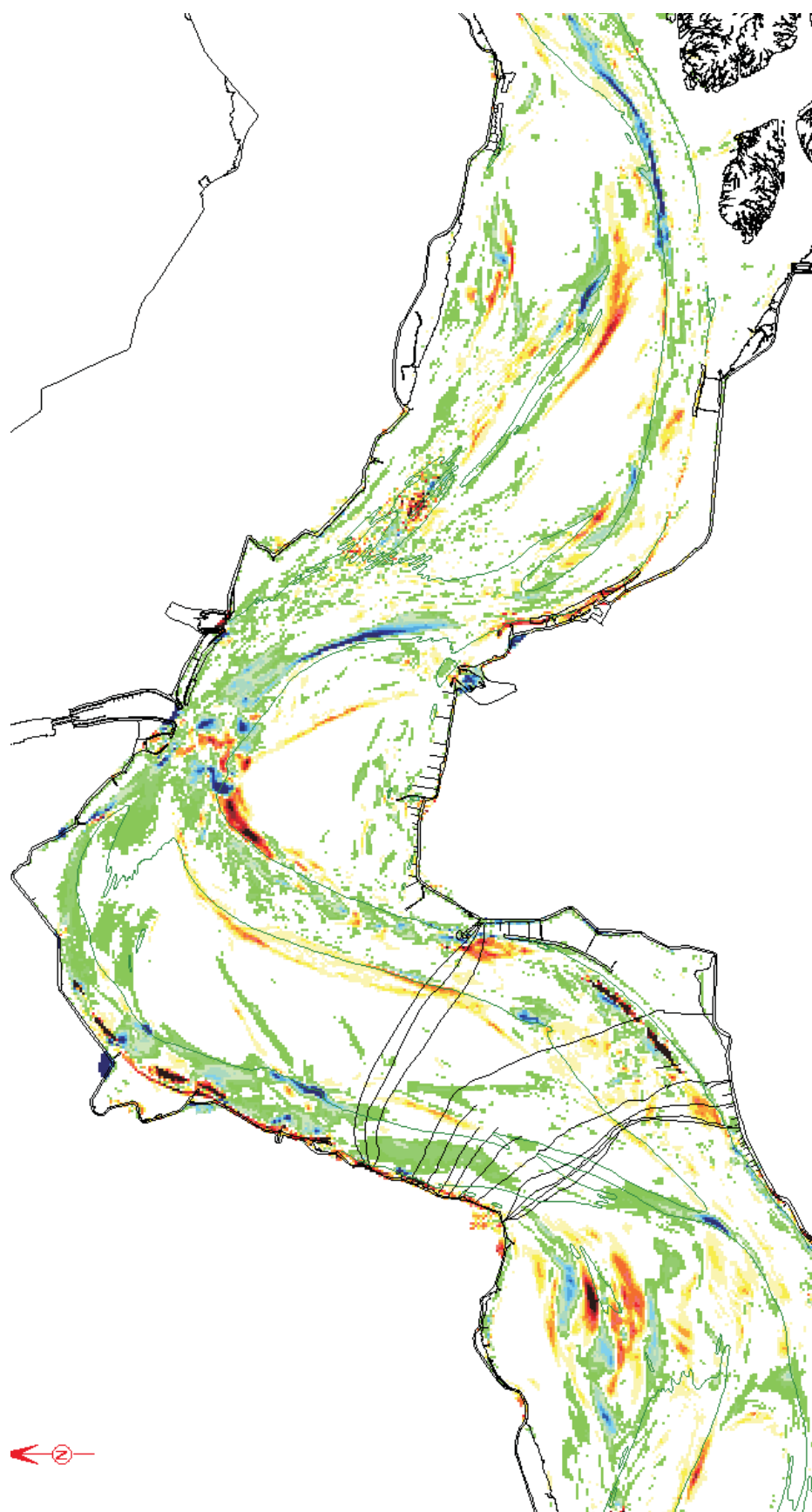
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 25



Westerschelde midden - Natuurlijke erosie-sedimentatie
2002-2003

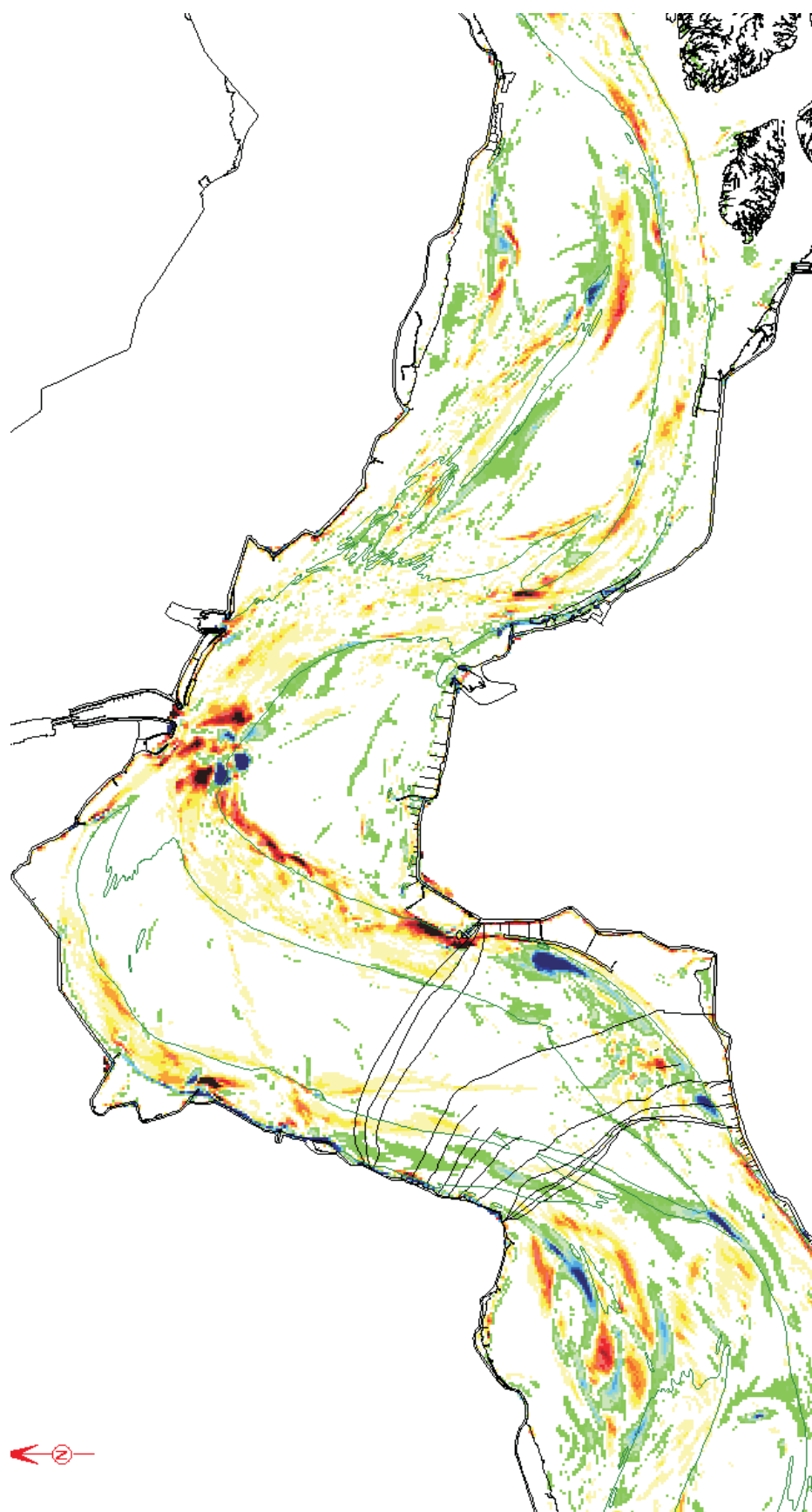
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 26



Westerschelde midden - Totale erosie-sedimentatie 2003-2004

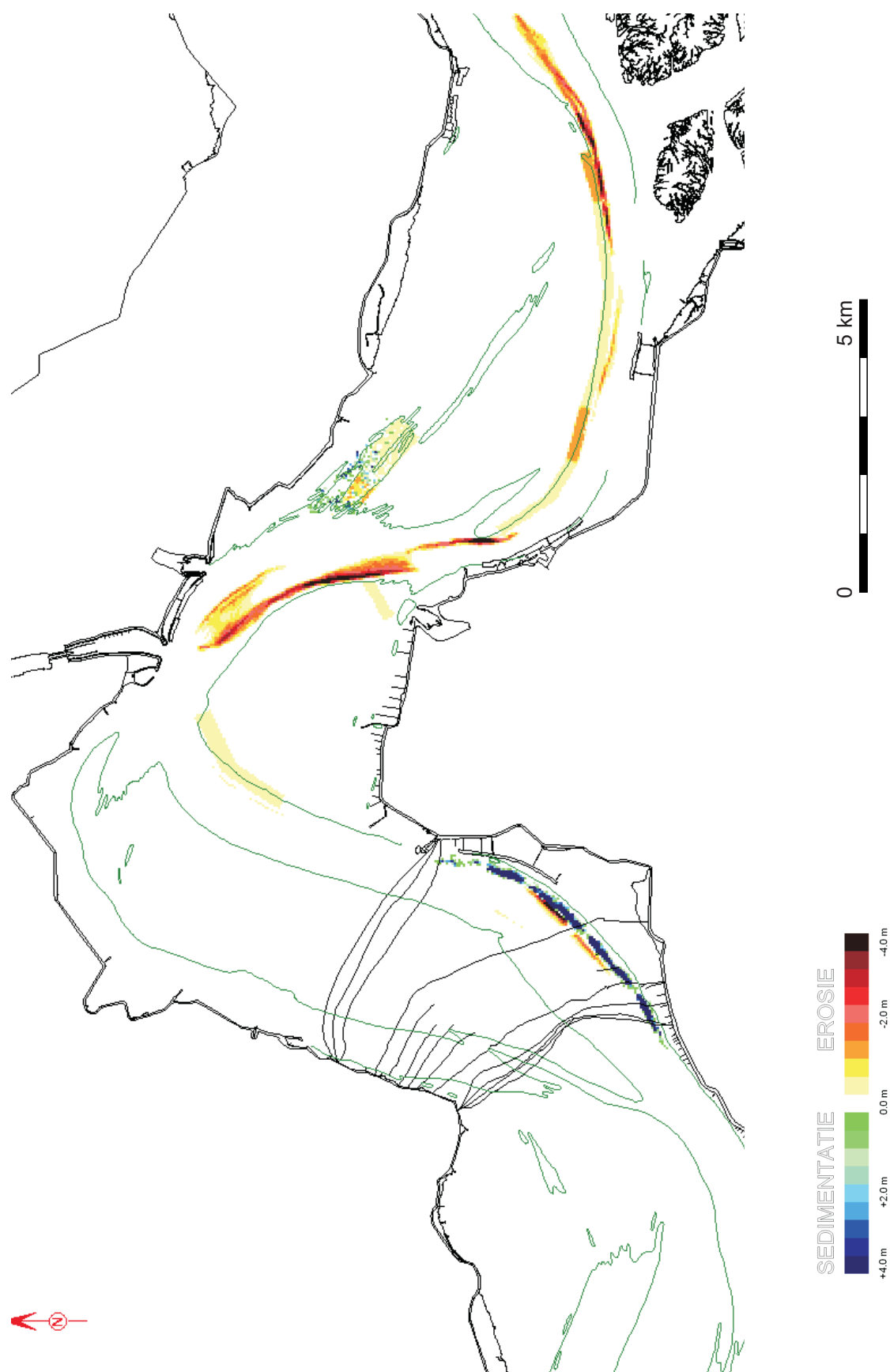
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 27



Westerschelde midden - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2003-2004

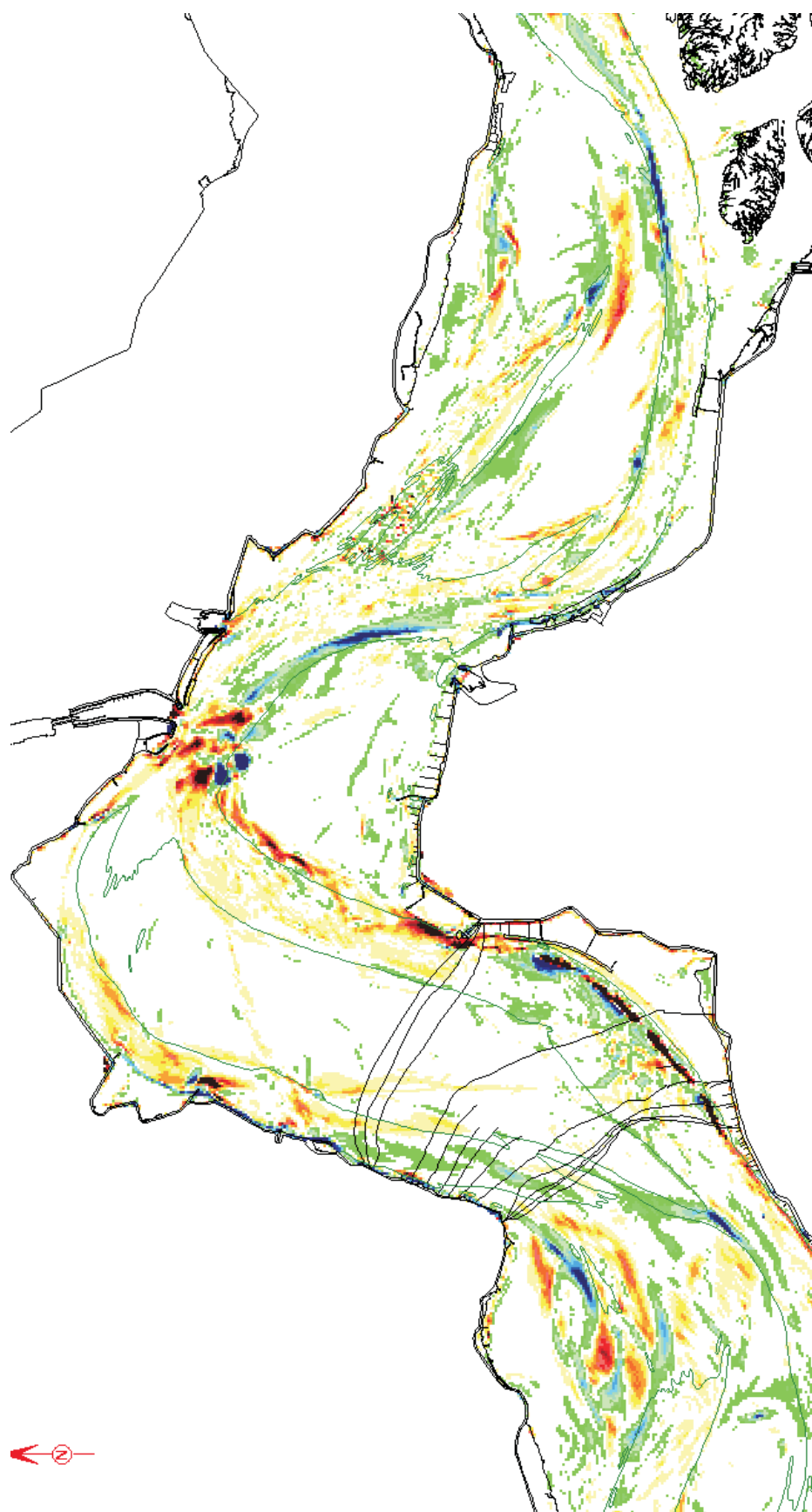
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 28



Westerschelde midden - Natuurlijke erosie-sedimentatie
2003-2004

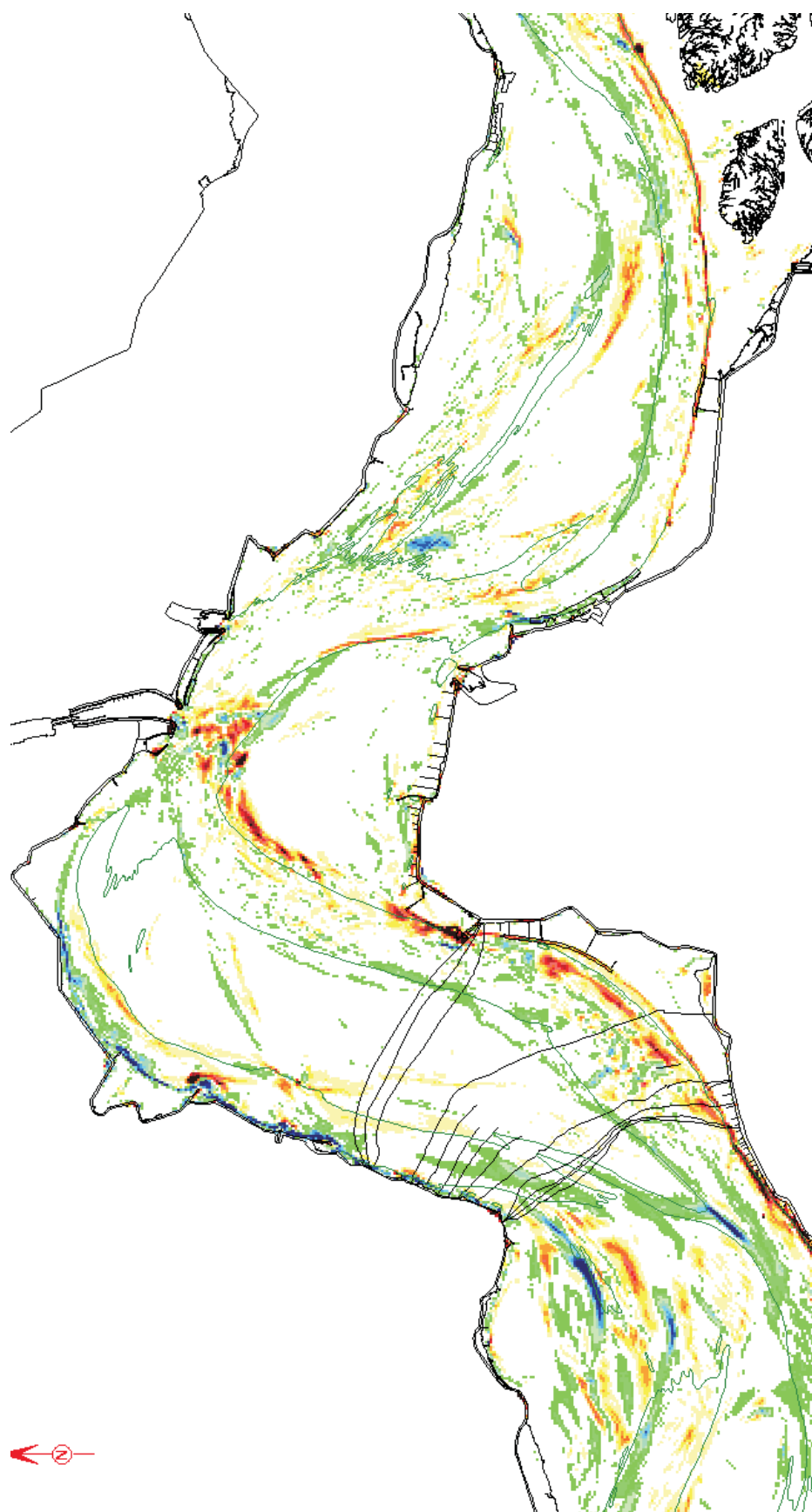
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 29



Westerschelde midden - Totale erosie-sedimentatie 2004-2005

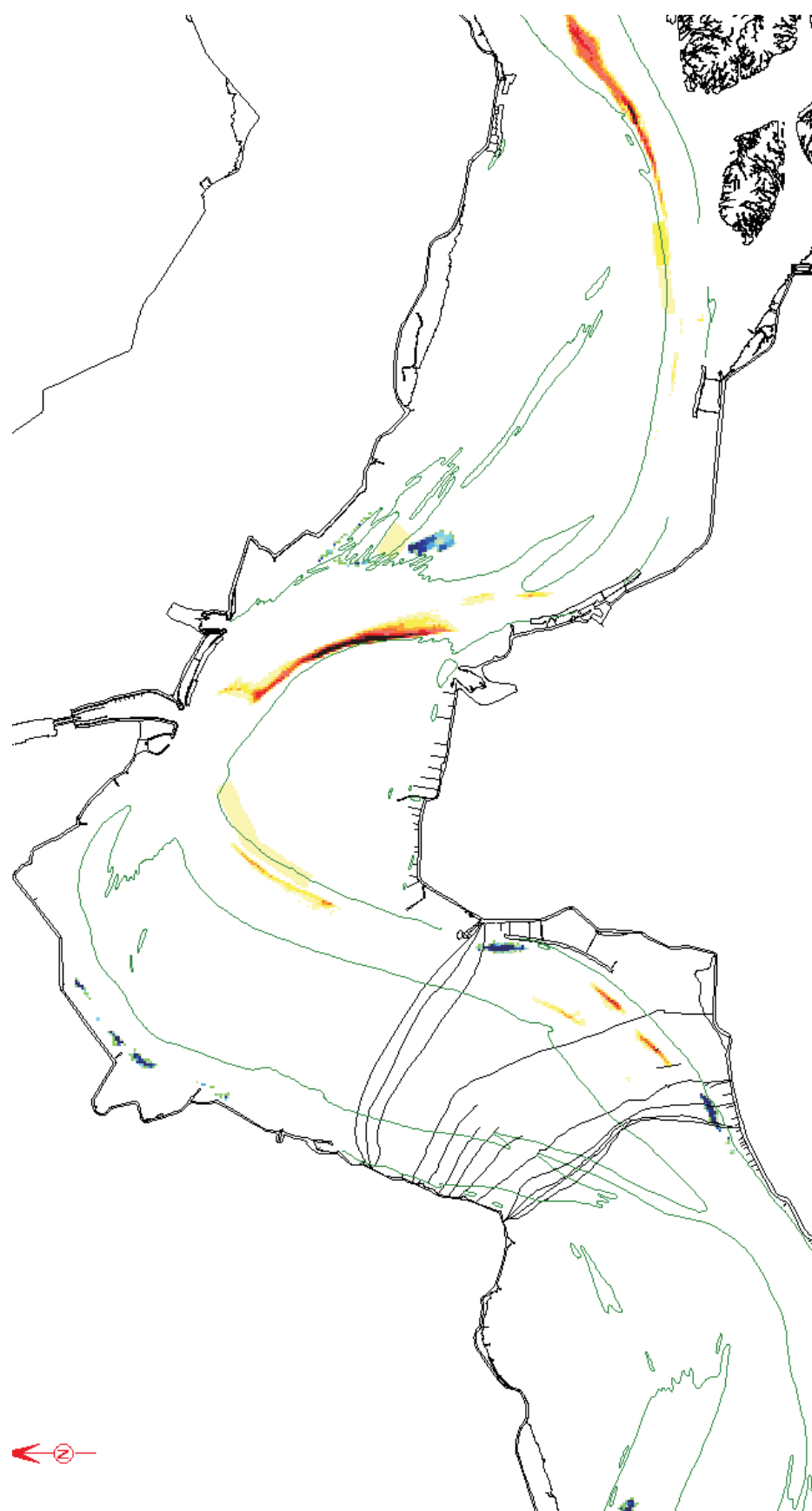
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 30



Westerschelde midden - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2004-2005

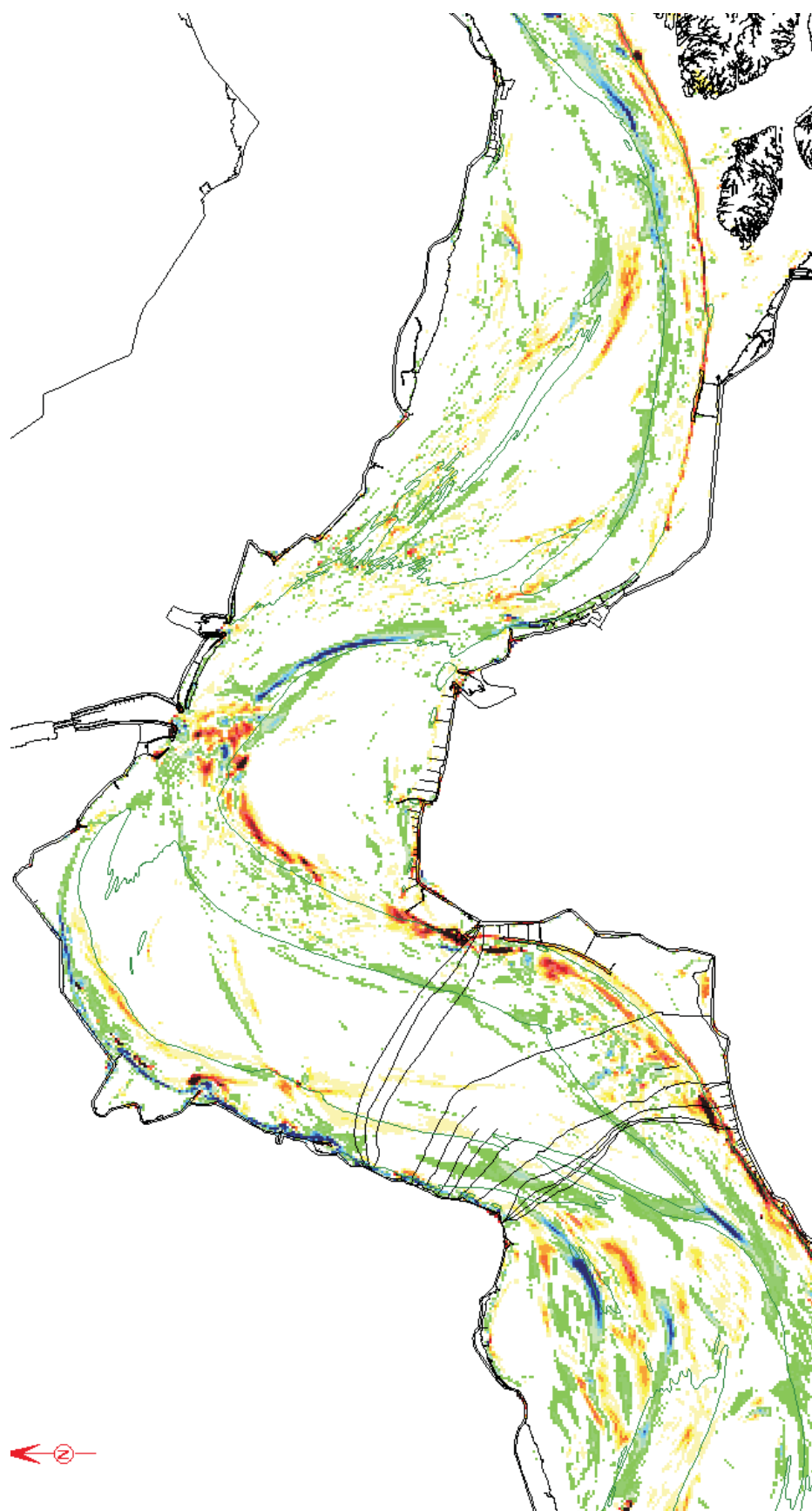
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 31



Westerschelde midden - Natuurlijke erosie-sedimentatie
2004-2005

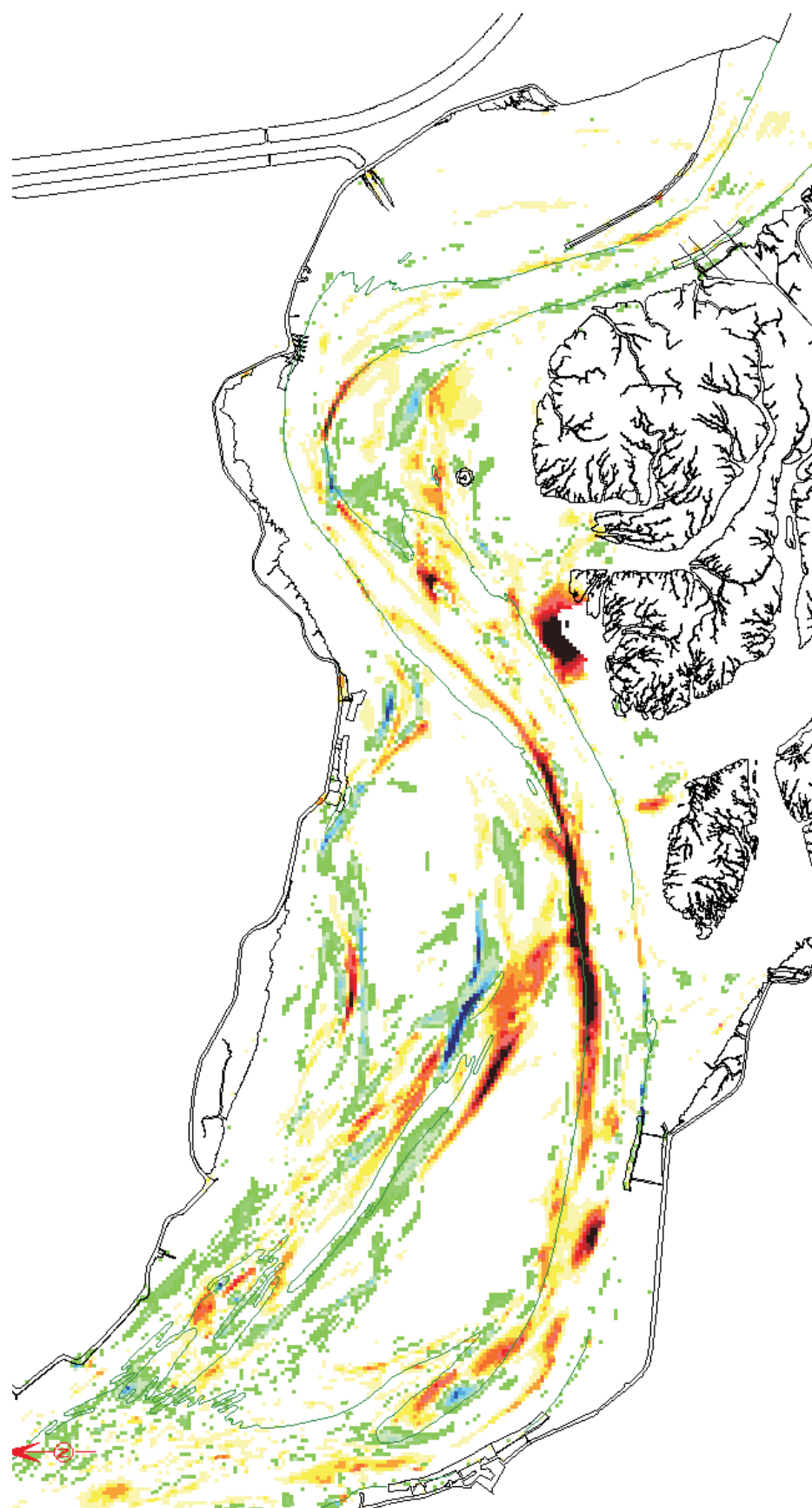
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 32



Westerschelde oost - Totale erosie-sedimentatie 2000-2001

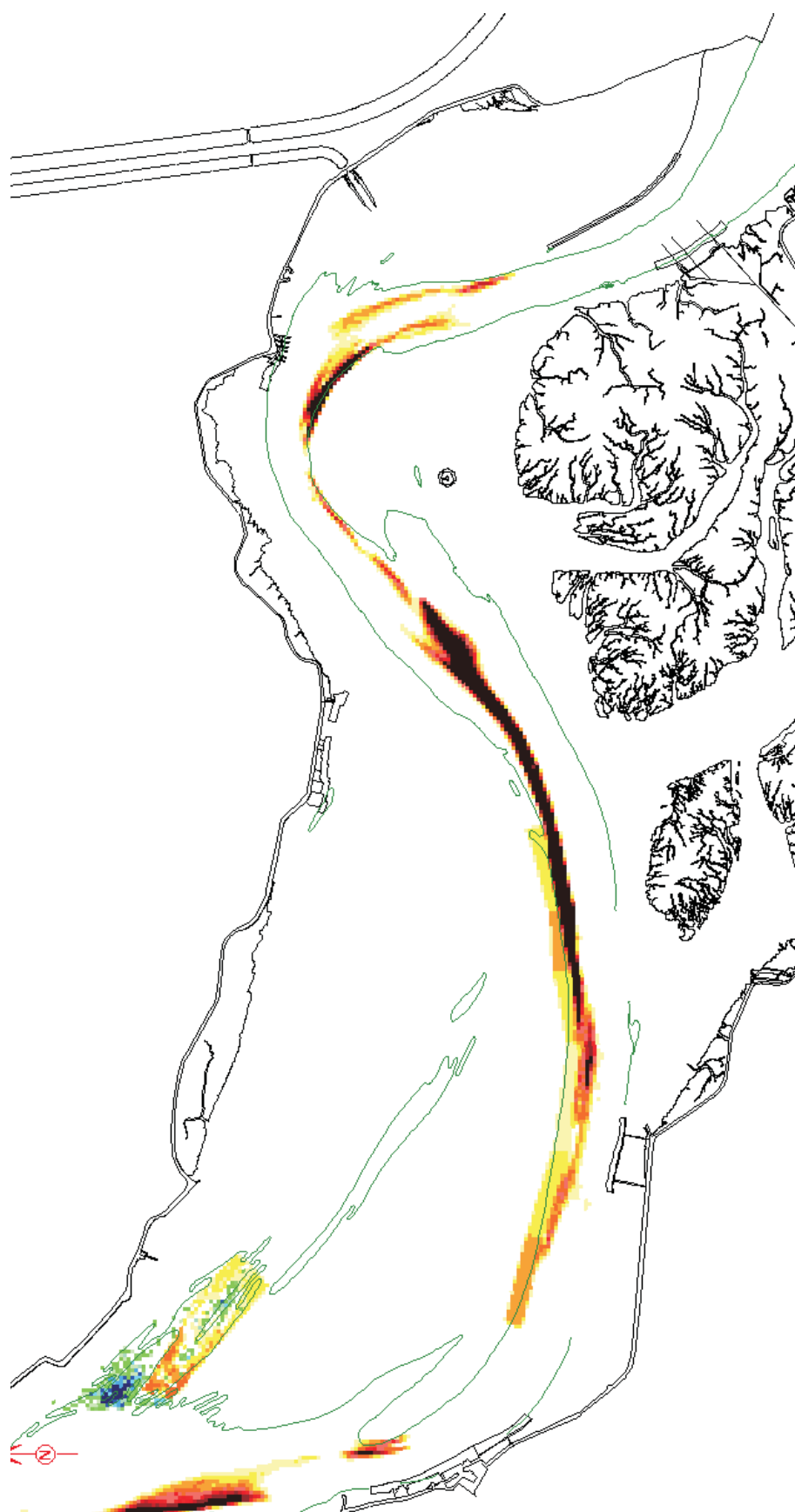
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 33



Westerschelde oost - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2000-2001

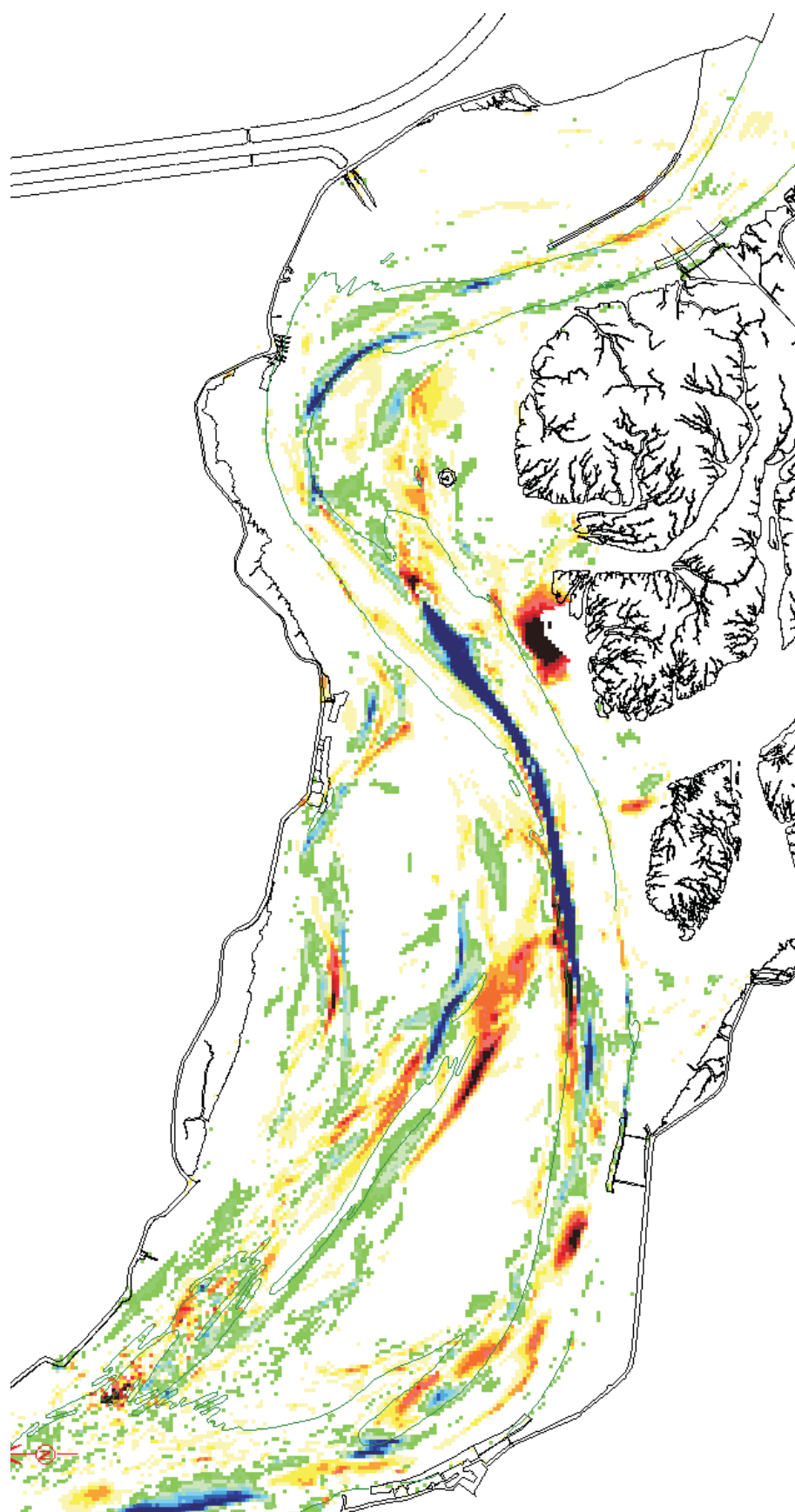
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 34



Westerschelde oost - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2000-2001

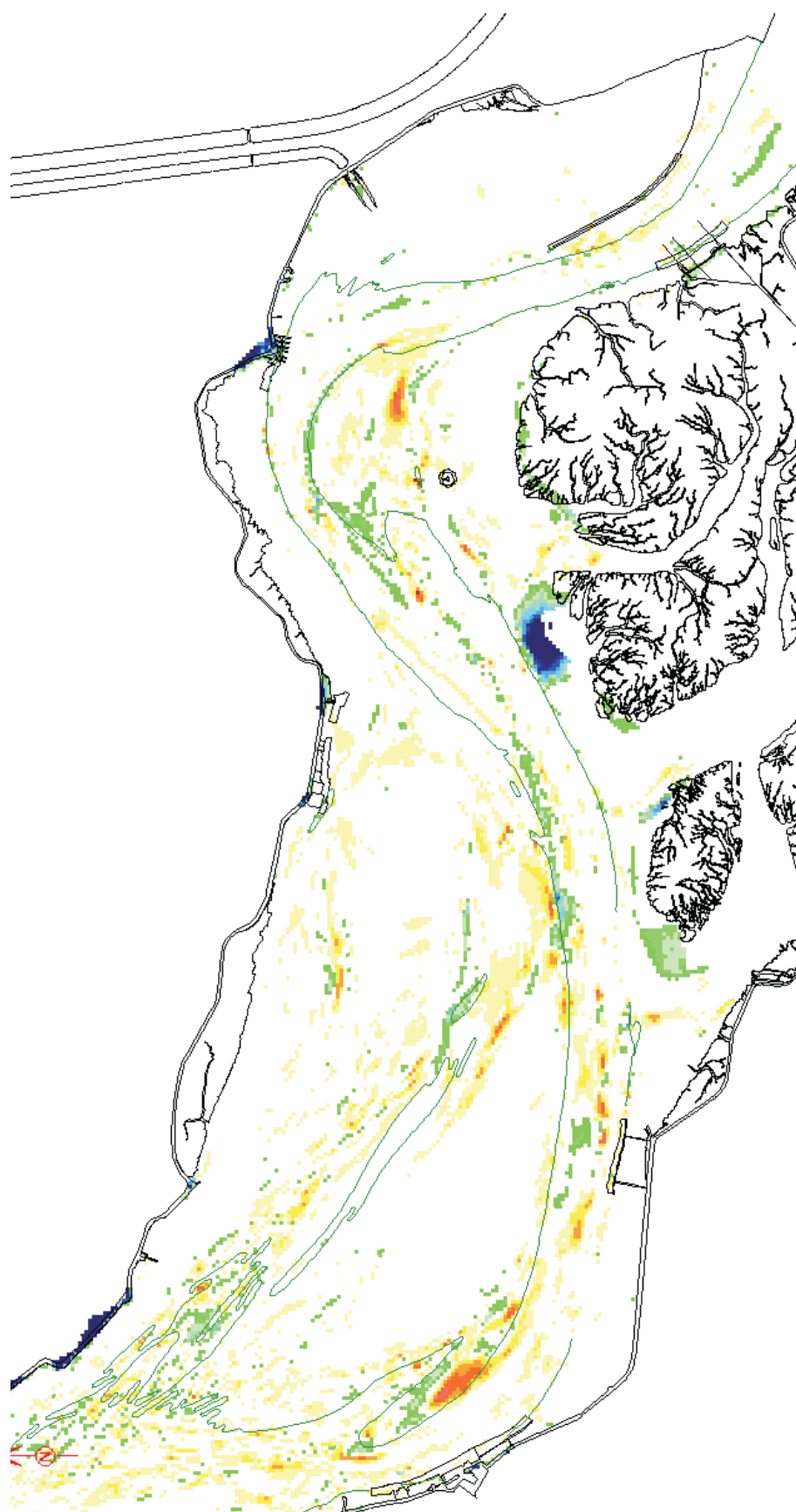
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 35



Westerschelde oost - Totale erosie-sedimentatie 2001-2002

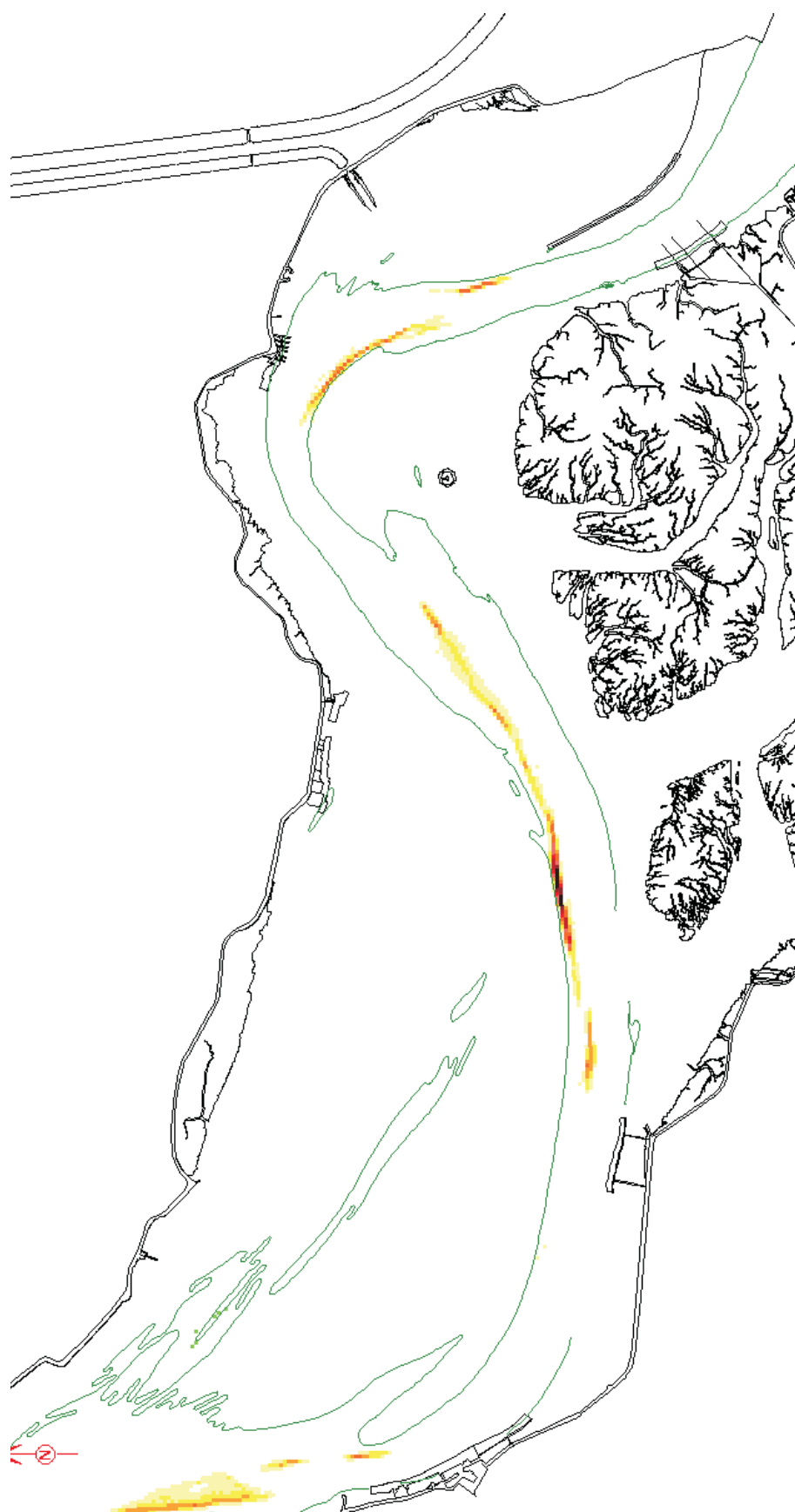
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 36



Westerschelde oost - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2001-2002

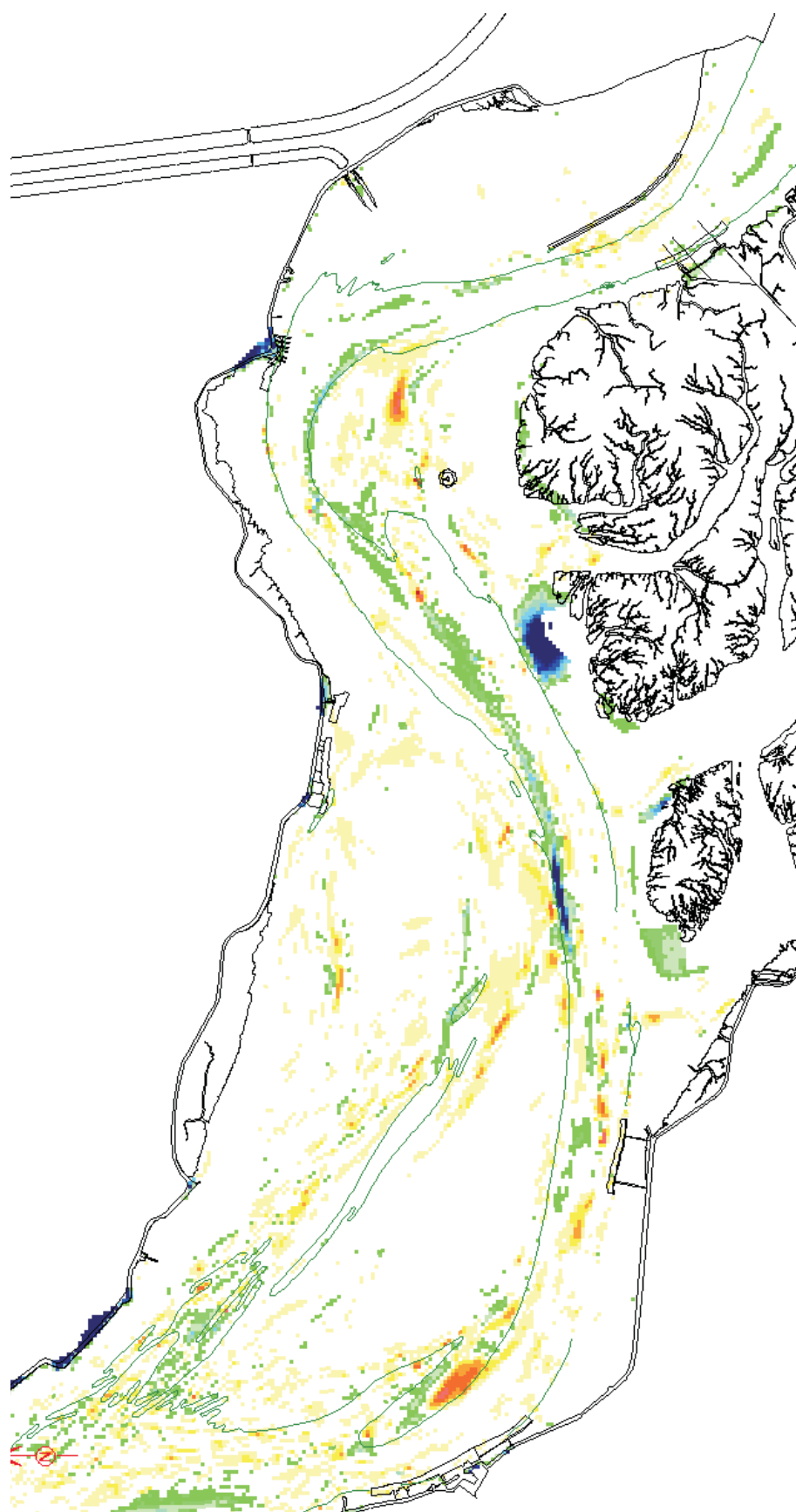
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 37



Westerschelde oost - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2001-2002

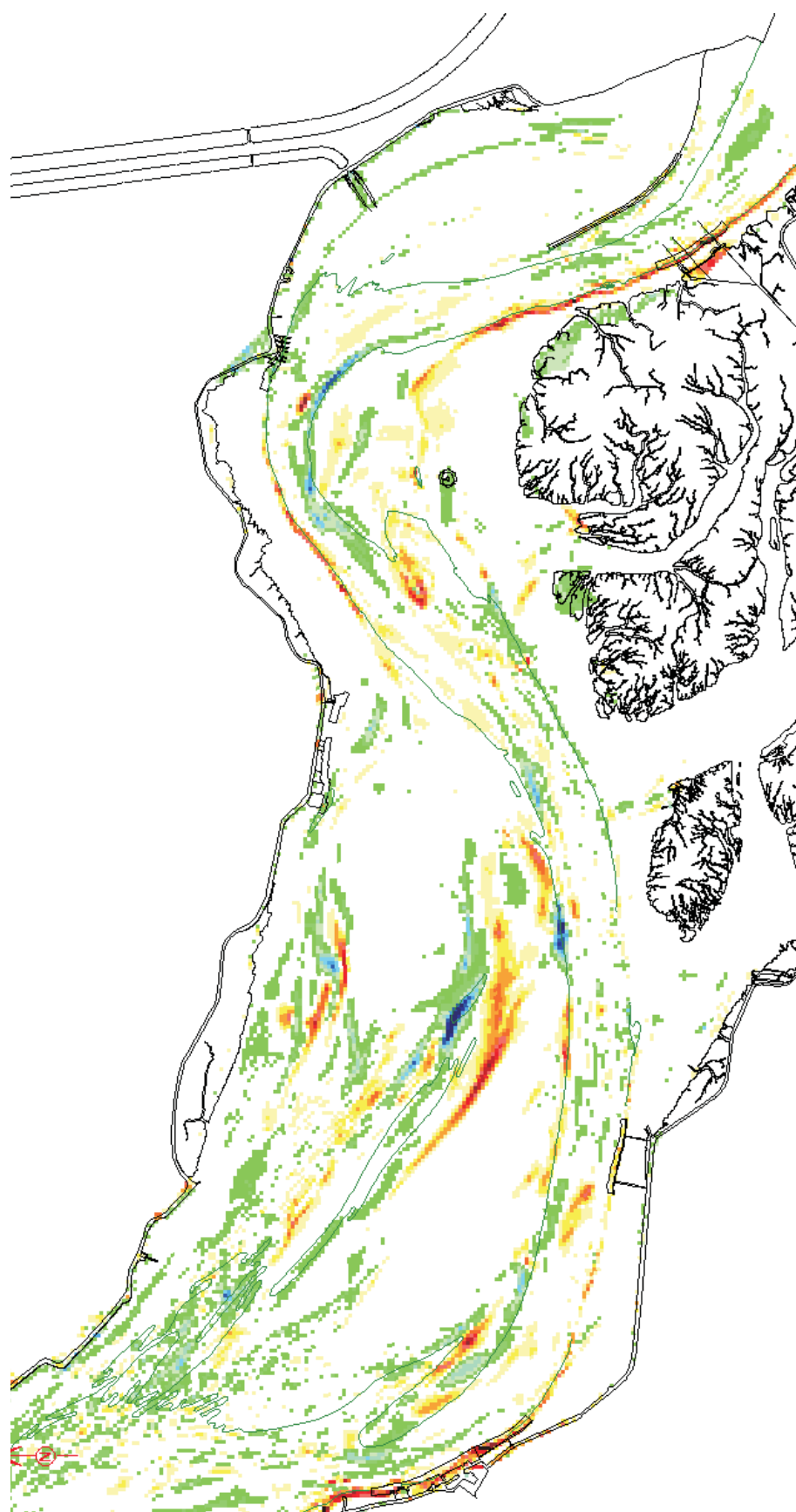
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 38



Westerschelde oost - Totale erosie-sedimentatie 2002-2003

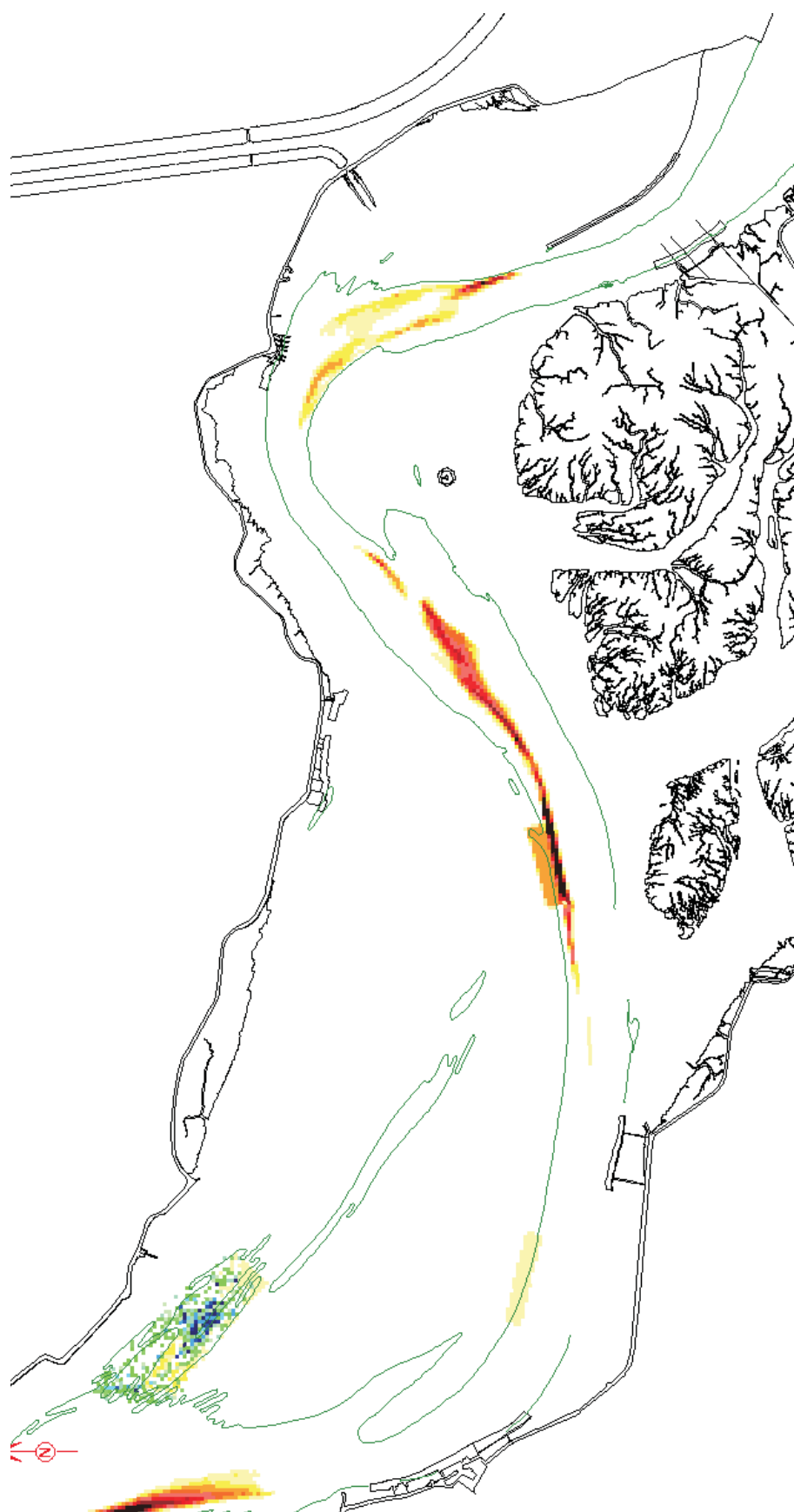
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 39



Westerschelde oost - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2002-2003

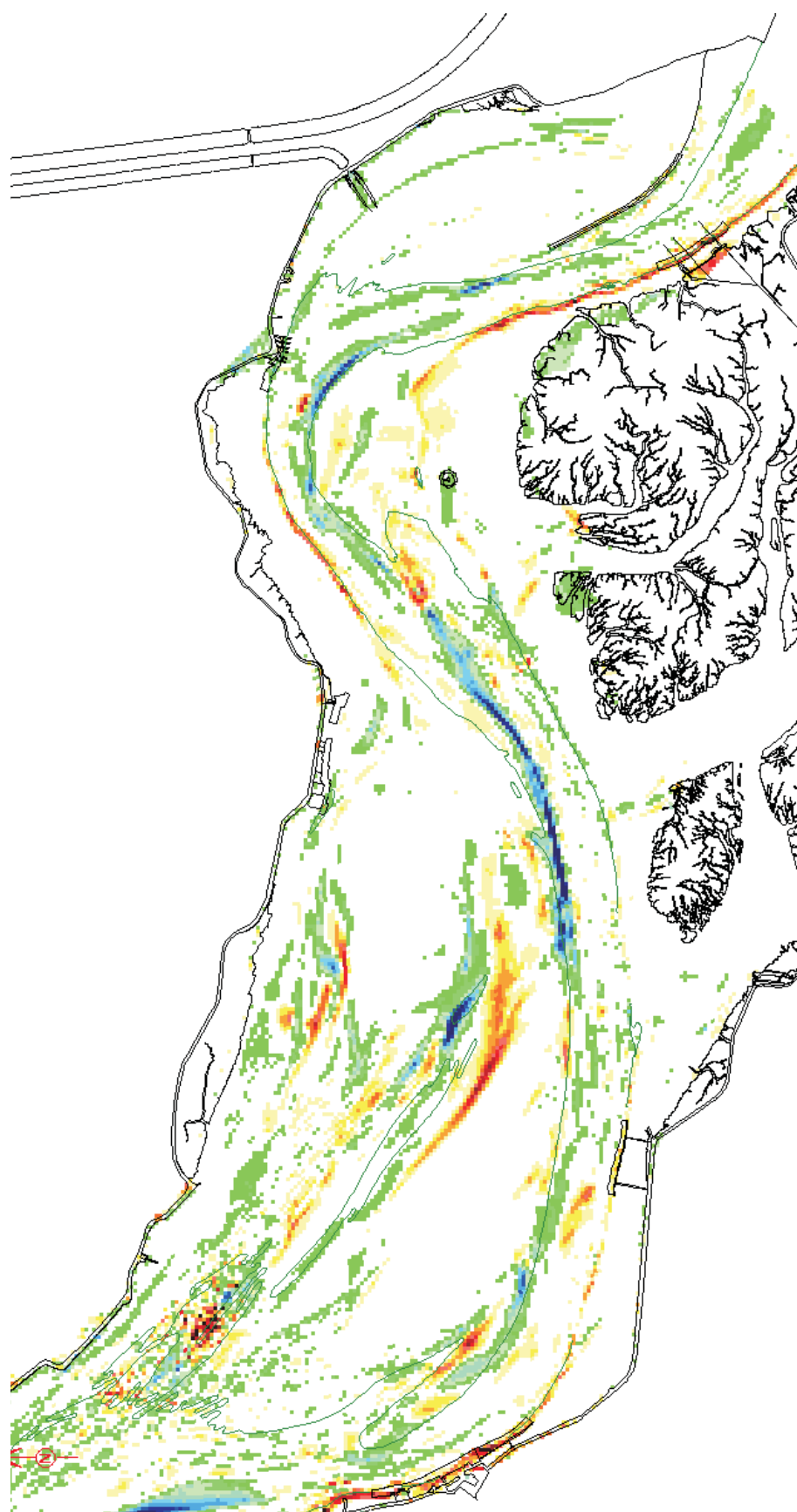
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 40



Westerschelde oost - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2002-2003

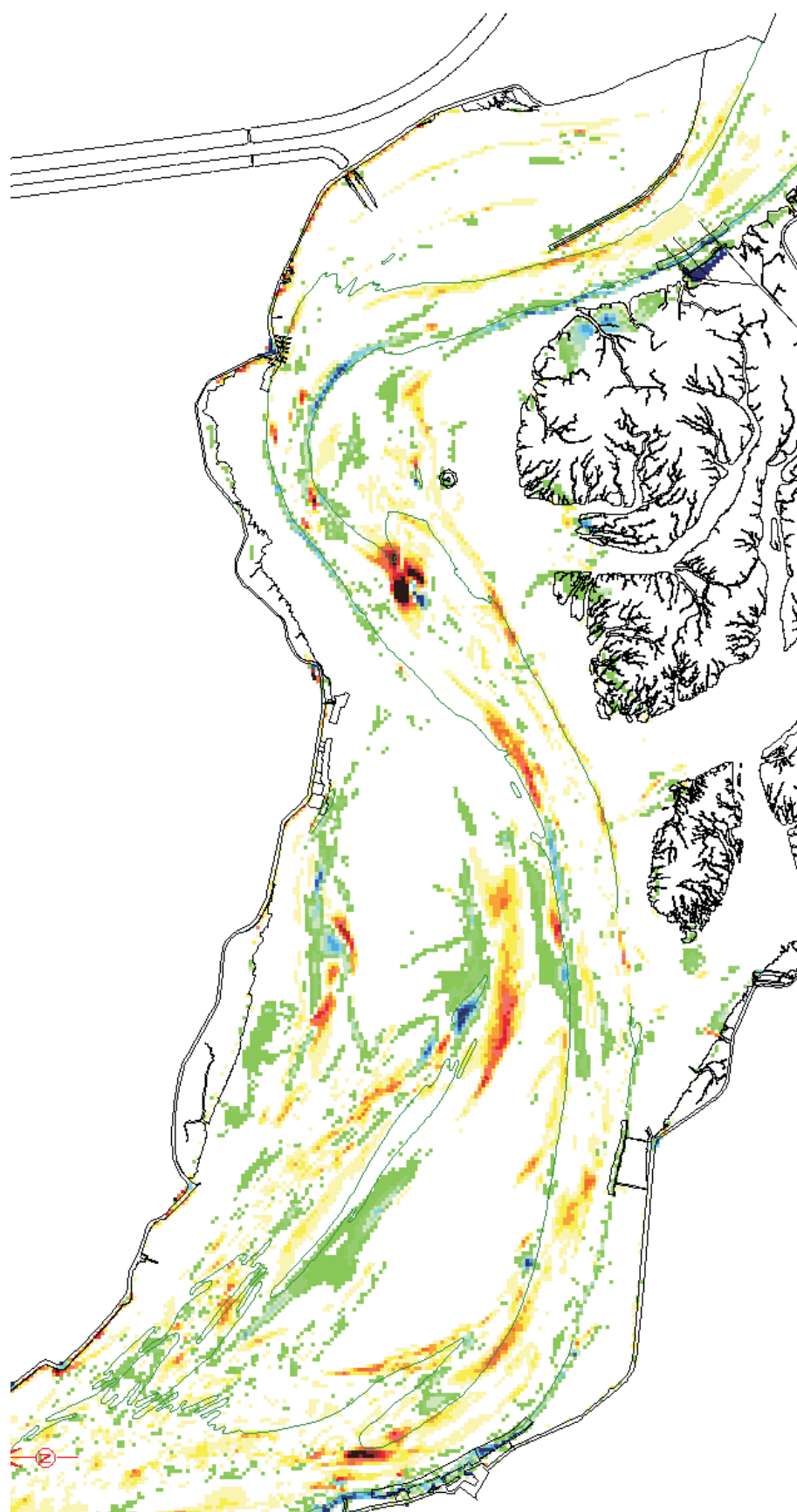
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 41



Westerschelde oost - Totale erosie-sedimentatie 2003-2004

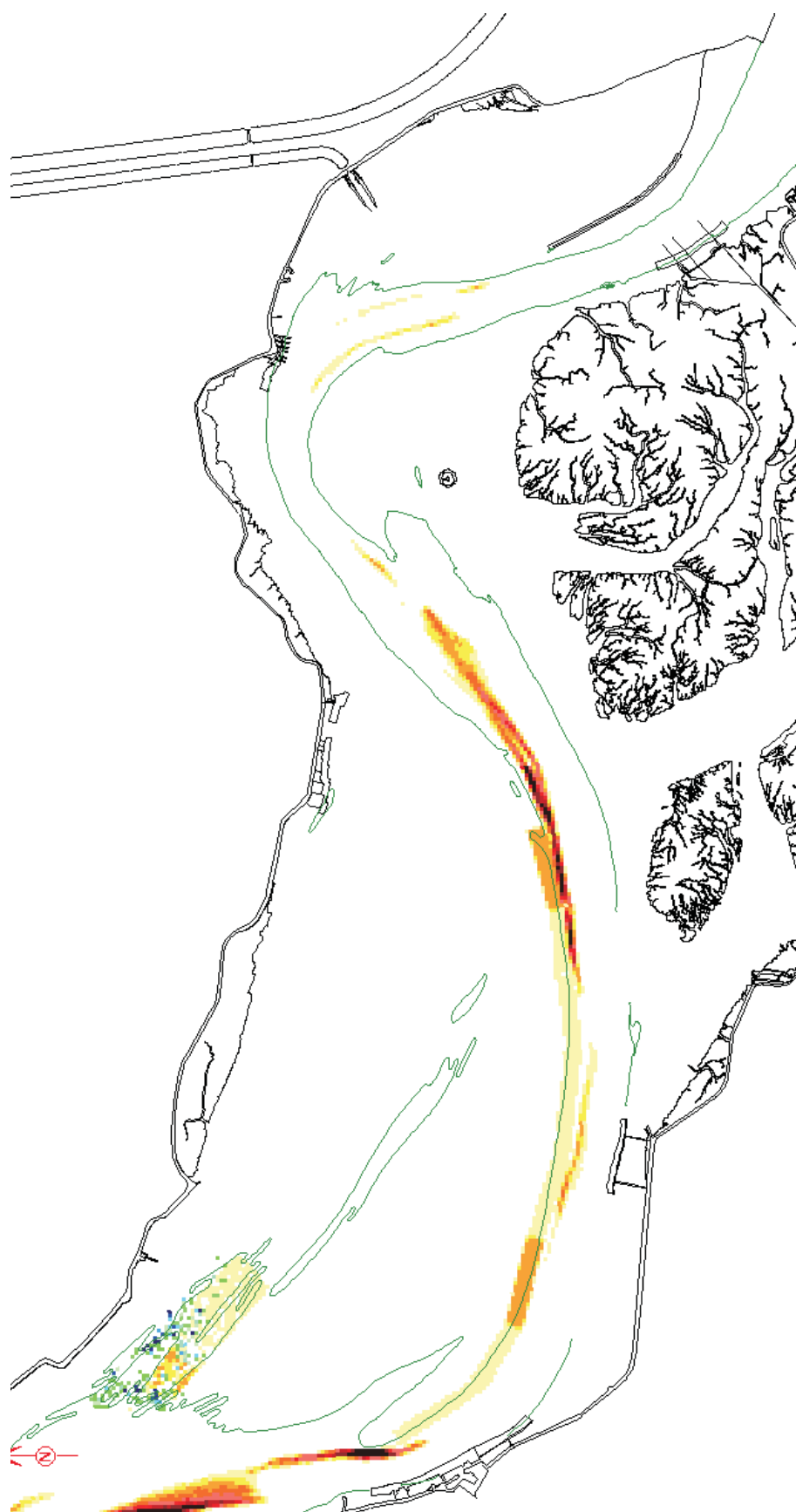
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 42



Westerschelde oost - Intensiteitskaart menselijke ingrepen
2003-2004

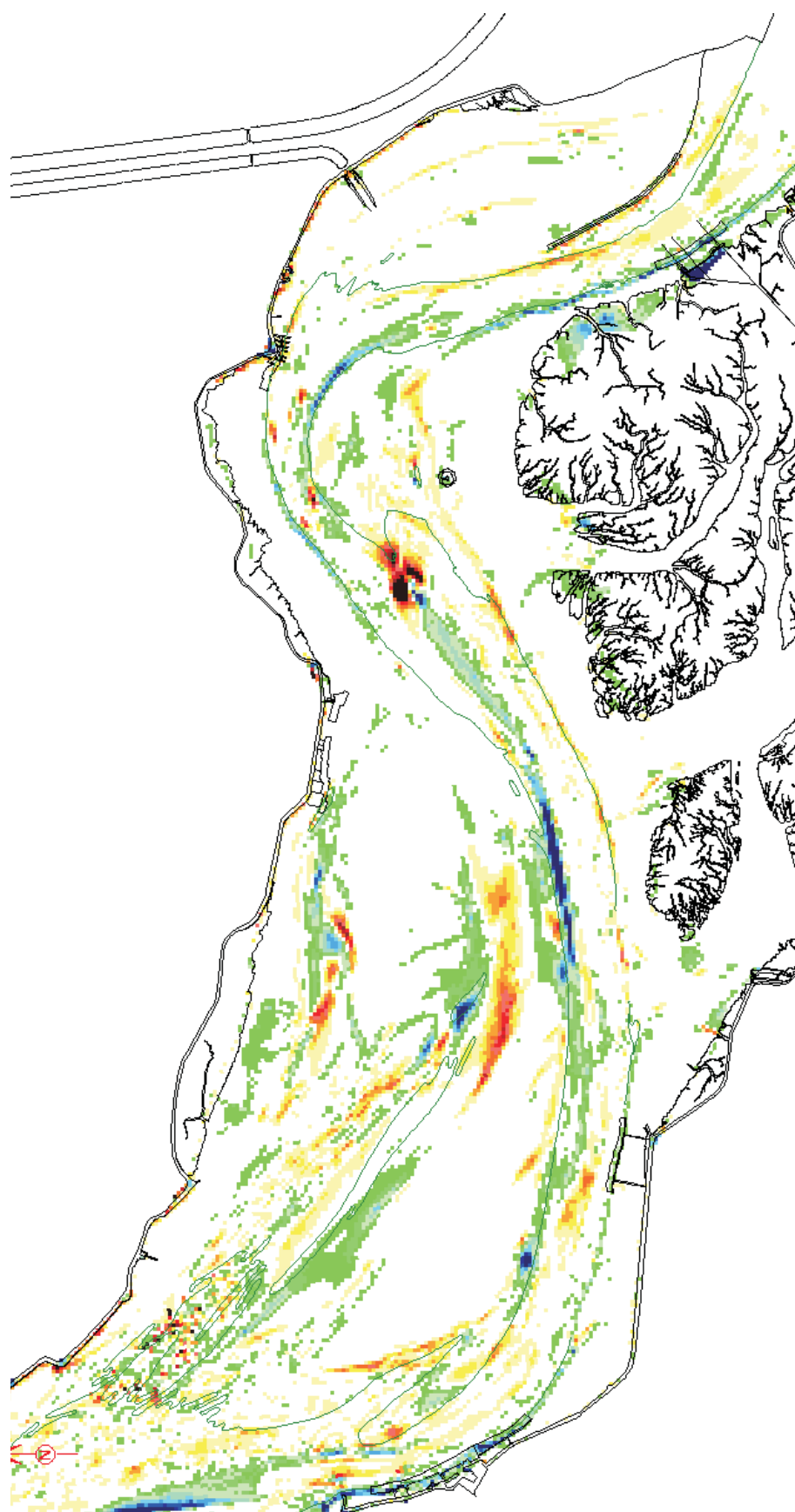
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 43



Westerschelde oost - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2003-2004

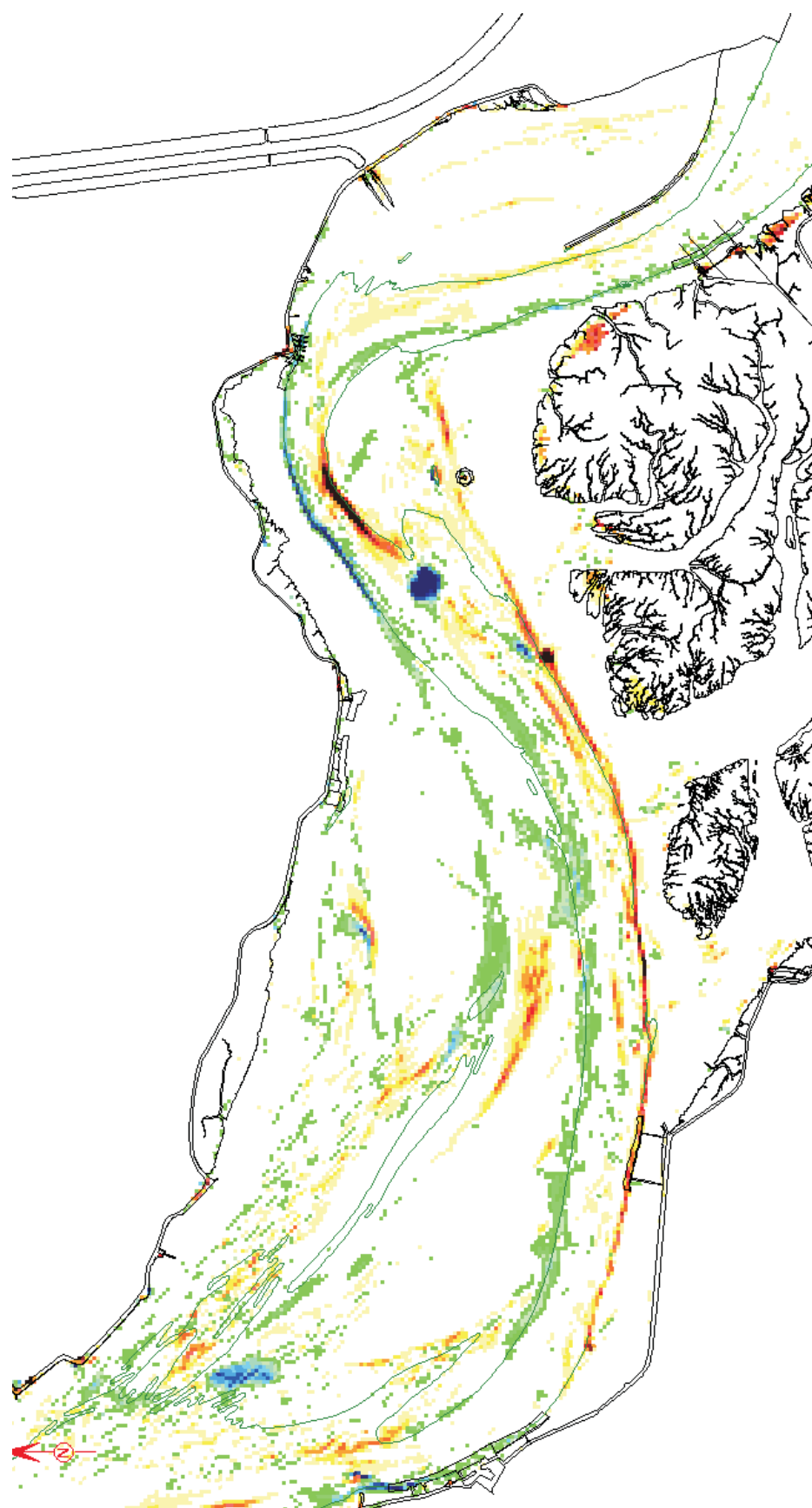
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 44



Westerschelde oost - Totale erosie-sedimentatie 2004-2005

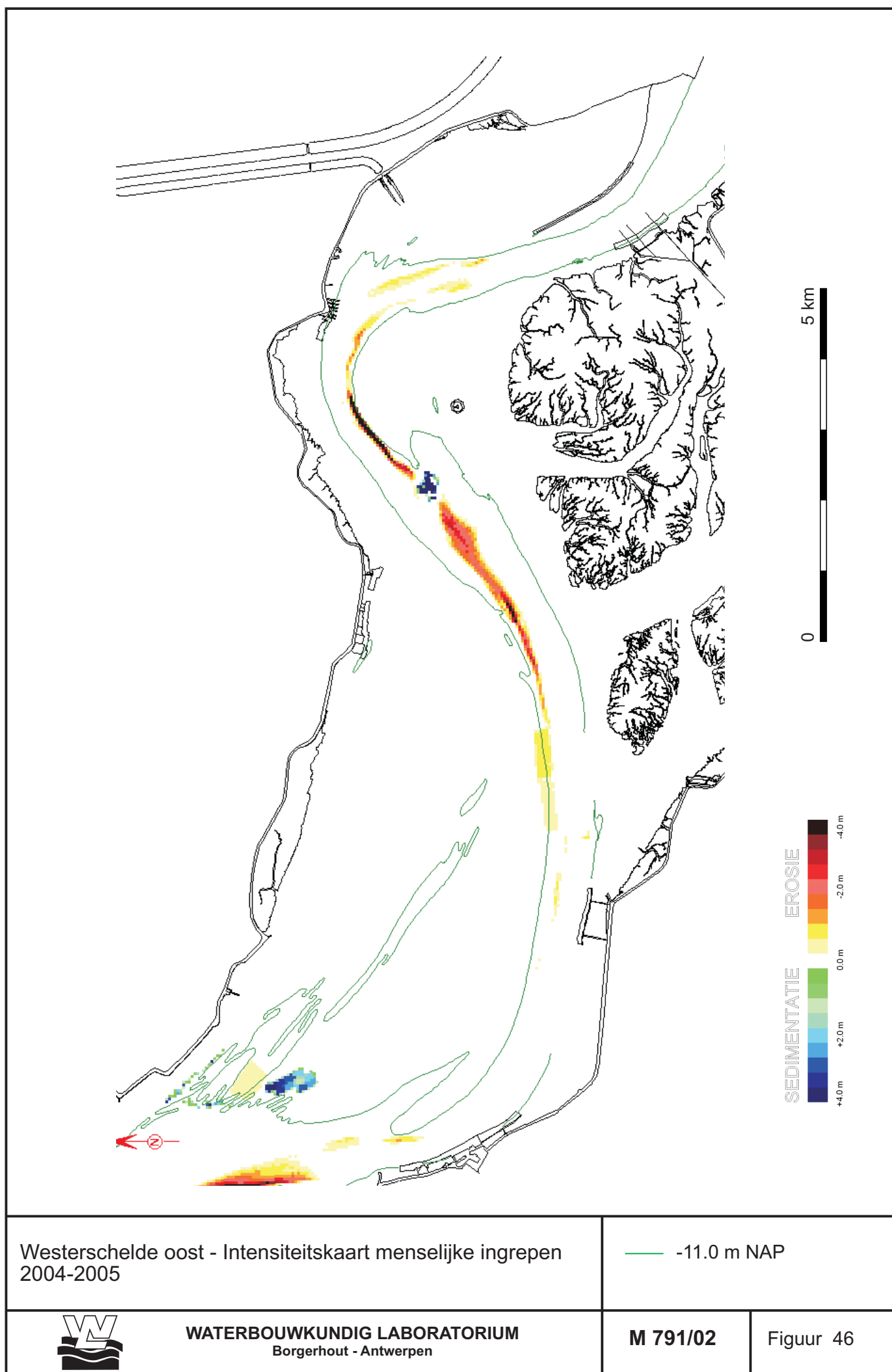
— -11.0 m NAP

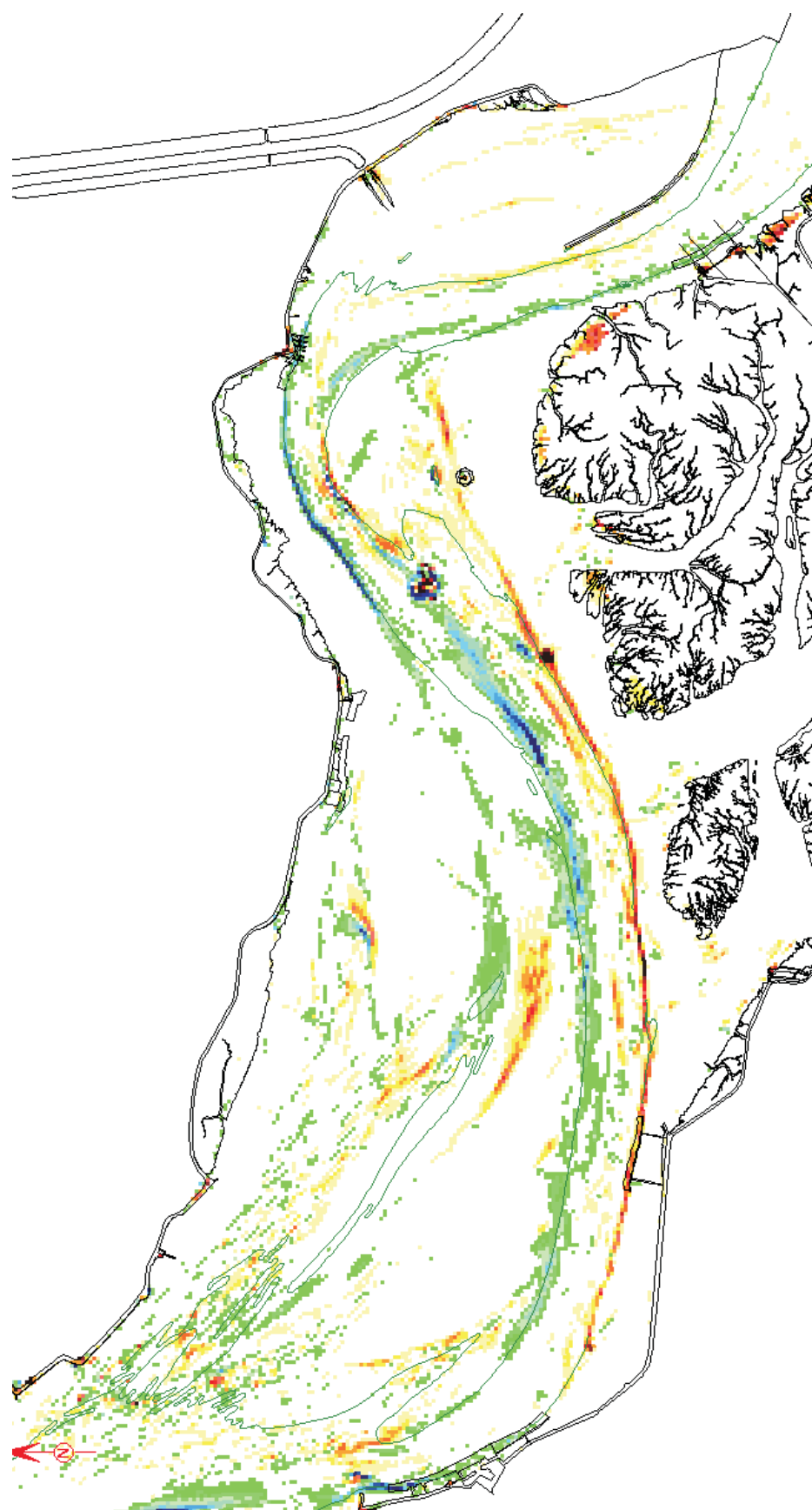


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 45





Westerschelde oost - Natuurlijke erosie-sedimentatie 2004-2005

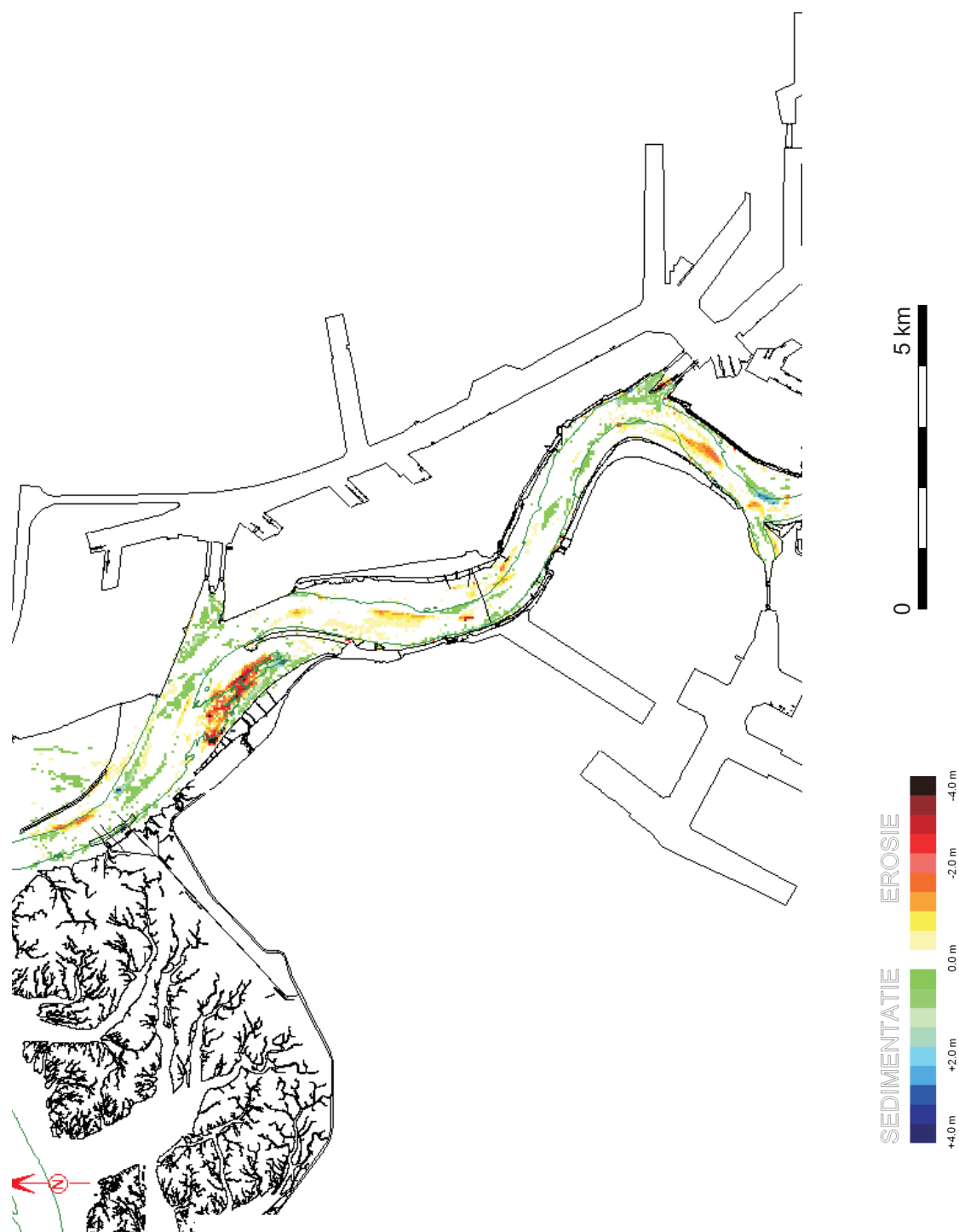
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 47



Zeeschelde Ballastplaat-Kallosluis
Totale erosie-sedimentatie 2000-2002

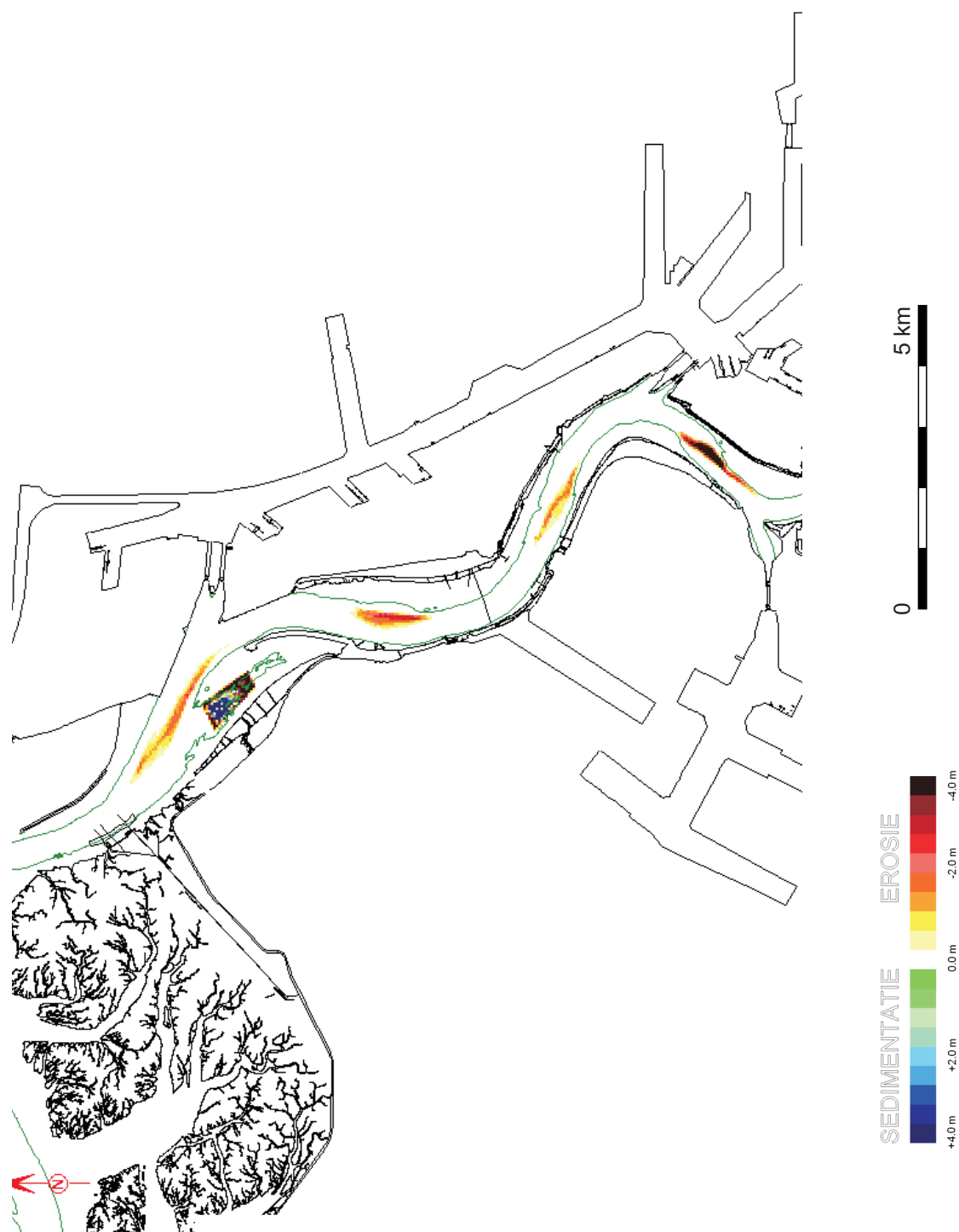
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 48



Zeeschelde Ballastplaat-Kallosluis
Intensiteitskaart menselijke ingrepen 2000-2002

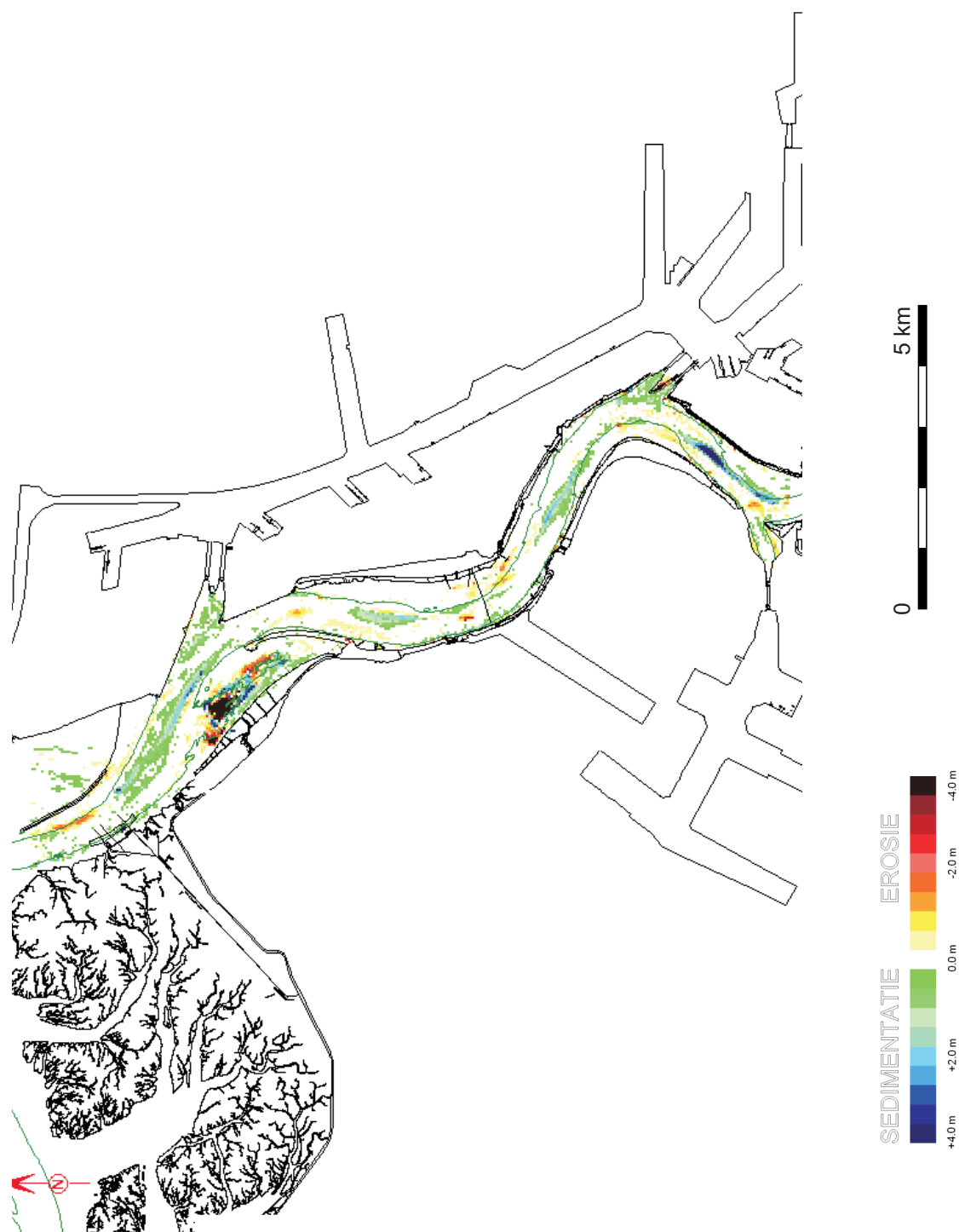
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 49



Zeeschelde Ballastplaat-Kallosluis
Natuurlijke erosie-sedimentatie 2000-2002

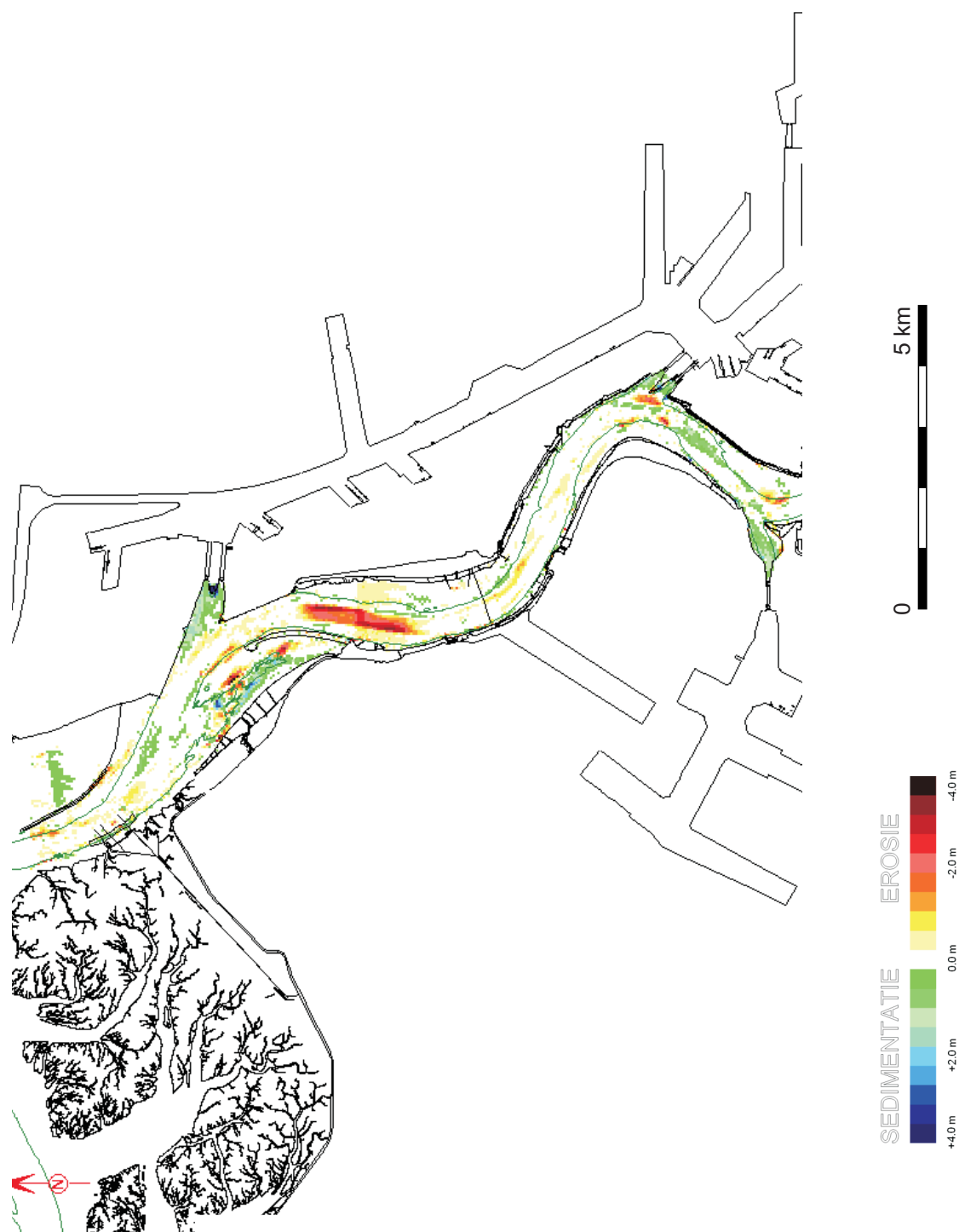
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 50



Zeeschelde Ballastplaat-Kallosluis
Totale erosie-sedimentatie 2002-2004

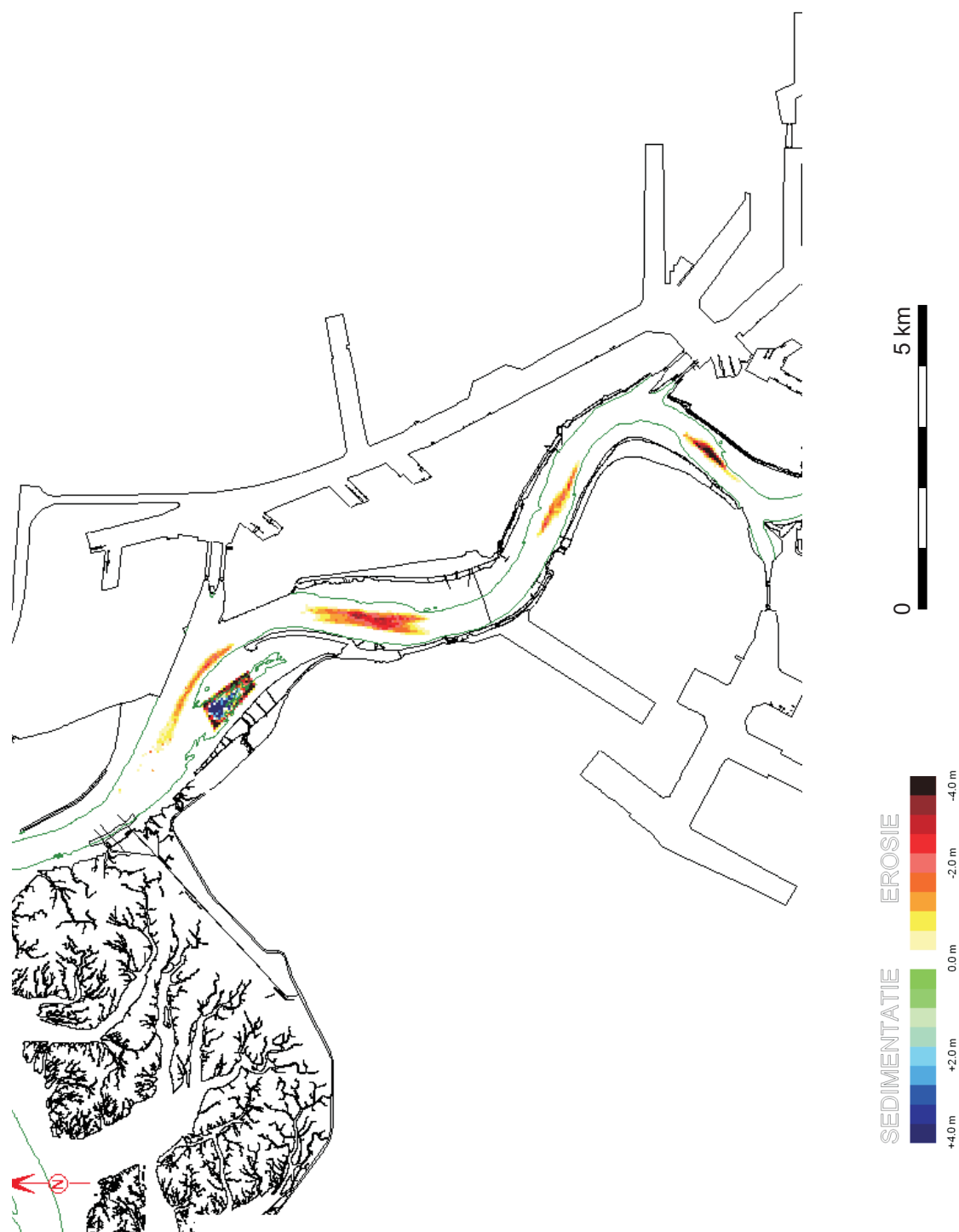
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 51



Zeeschelde Ballastplaat-Kallosluis
Intensiteitskaart menselijke ingrepen 2002-2004

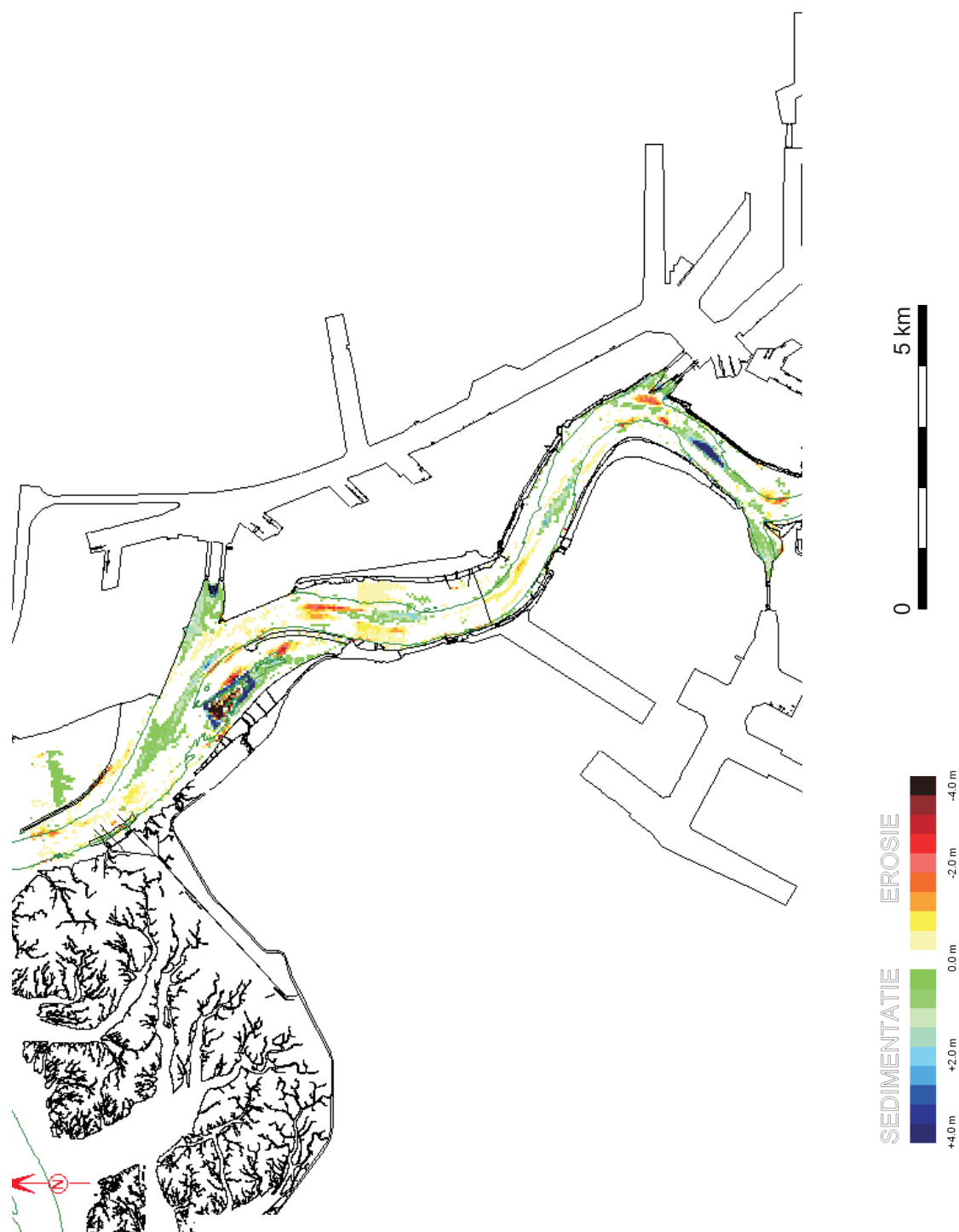
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 52



Zeeschelde Ballastplaat-Kallosluis
Natuurlijke erosie-sedimentatie 2002-2004

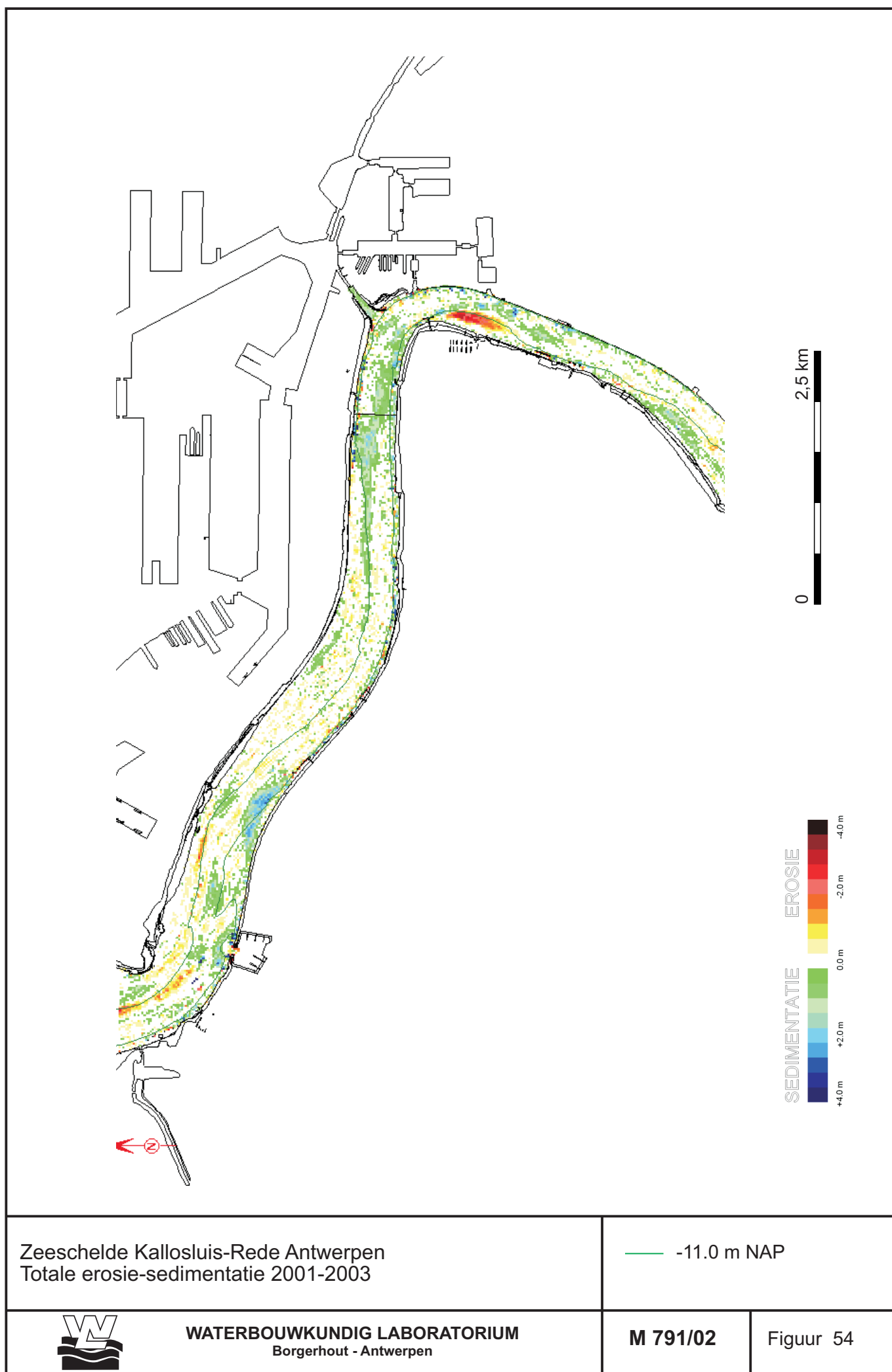
— -11.0 m NAP

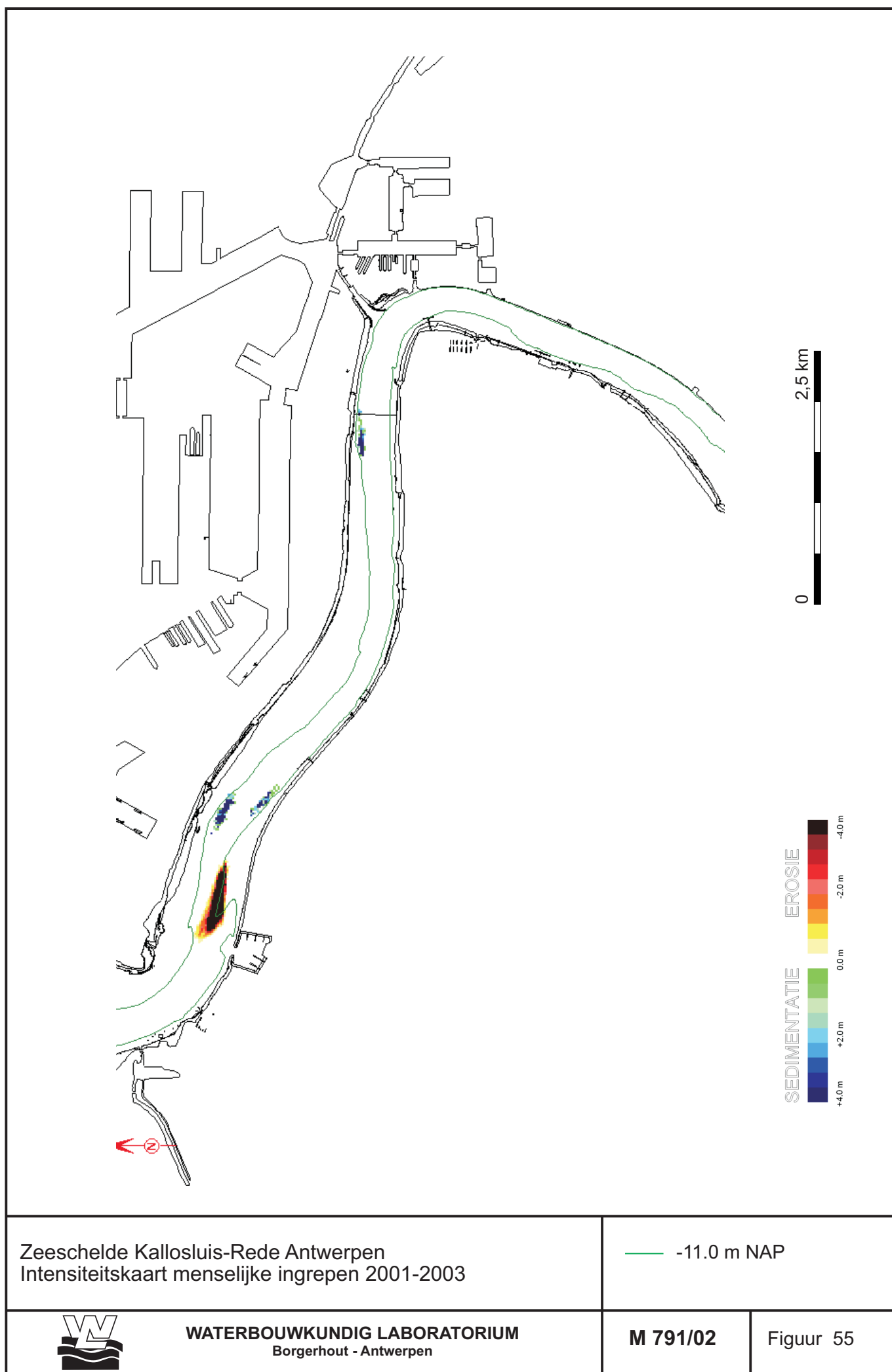


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 53







Zeeschelde Kallosluis-Rede Antwerpen
Natuurlijke erosie-sedimentatie 2001-2003

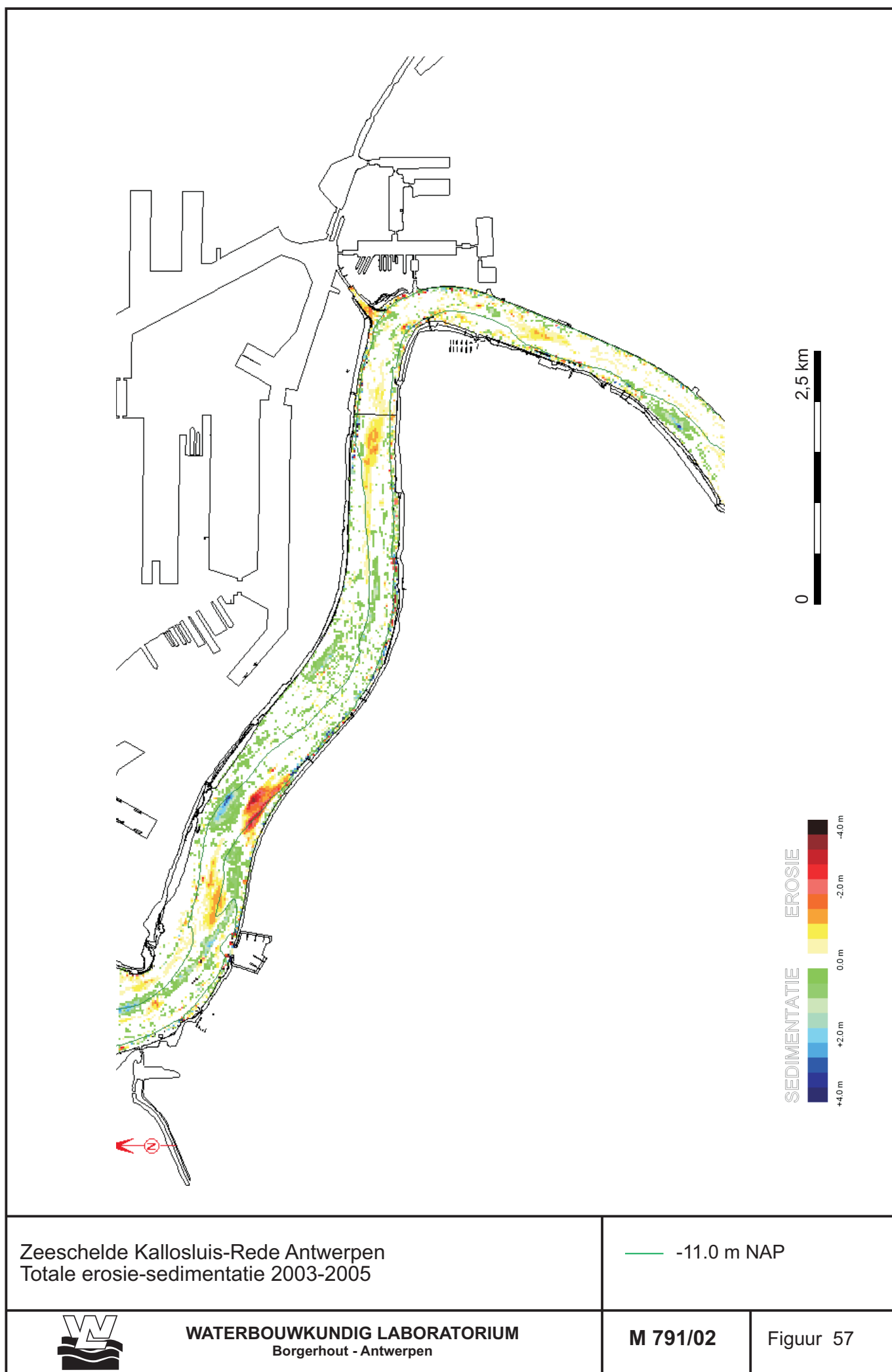
— -11.0 m NAP

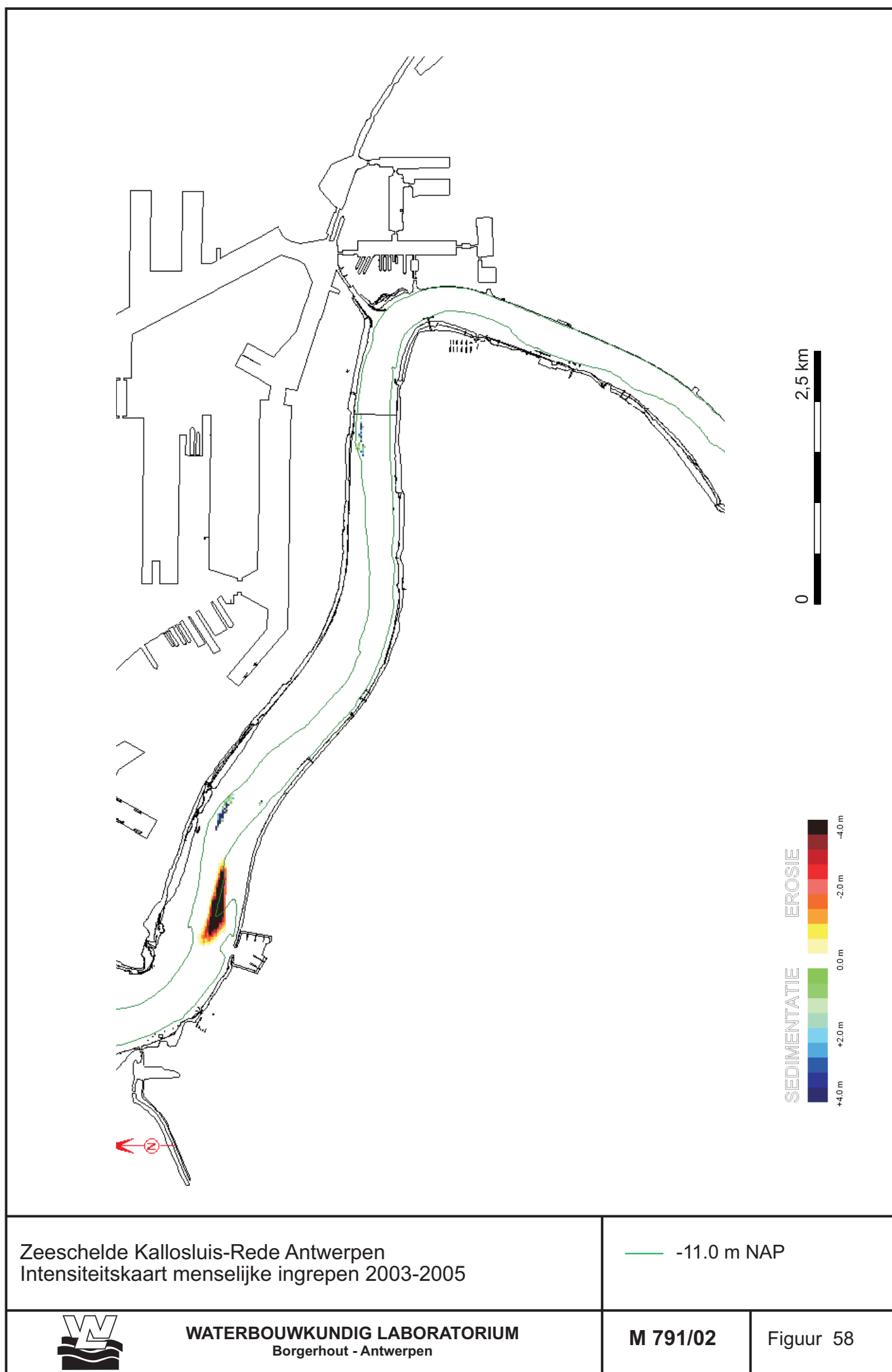


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 56







Zeeschelde Kallosluis-Rede Antwerpen
Natuurlijke erosie-sedimentatie 2003-2005

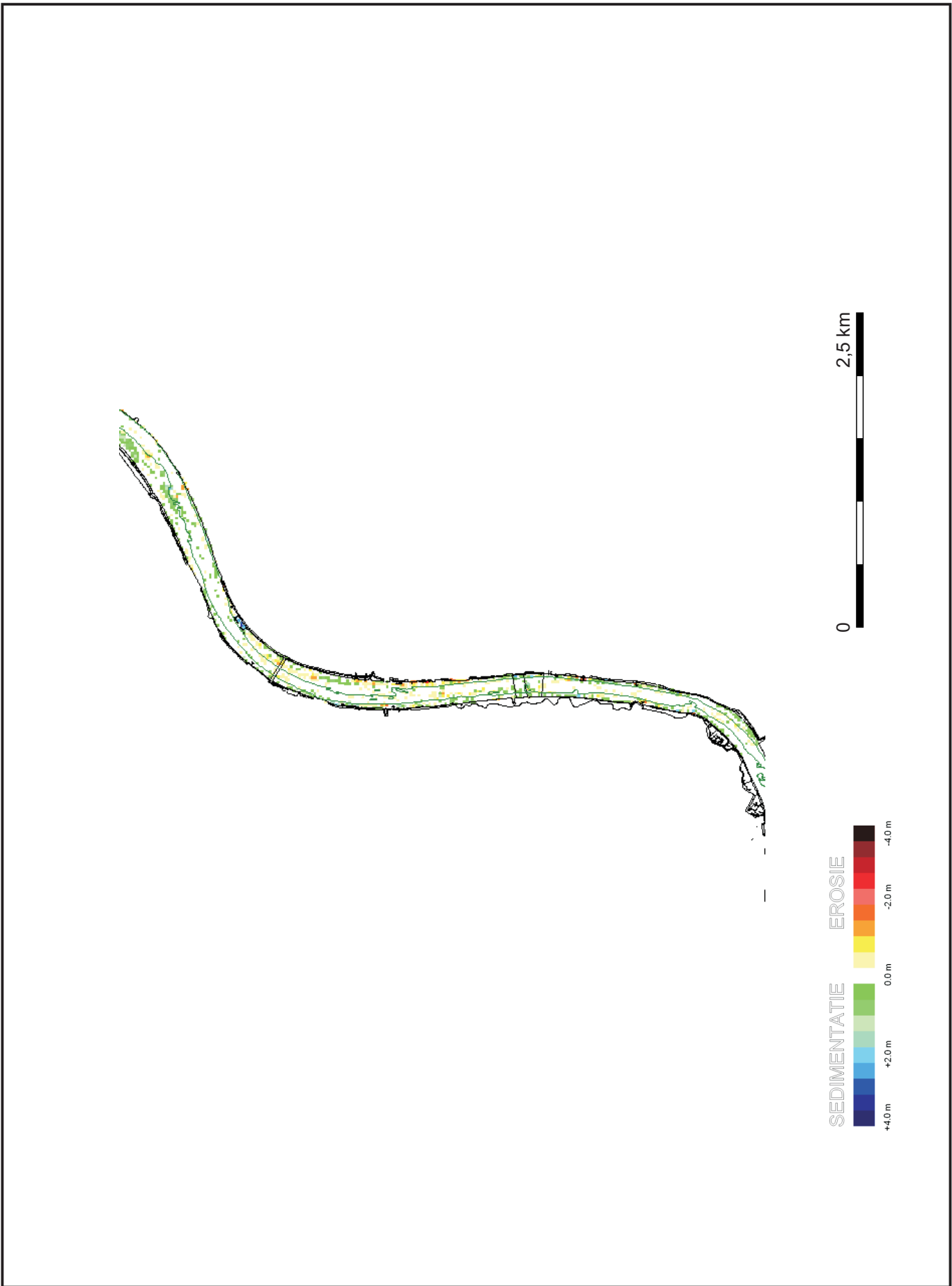
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 59



Zeeschelde Rede Antwerpen-Rupelmonde
Totale erosie-sedimentatie 2001-2003

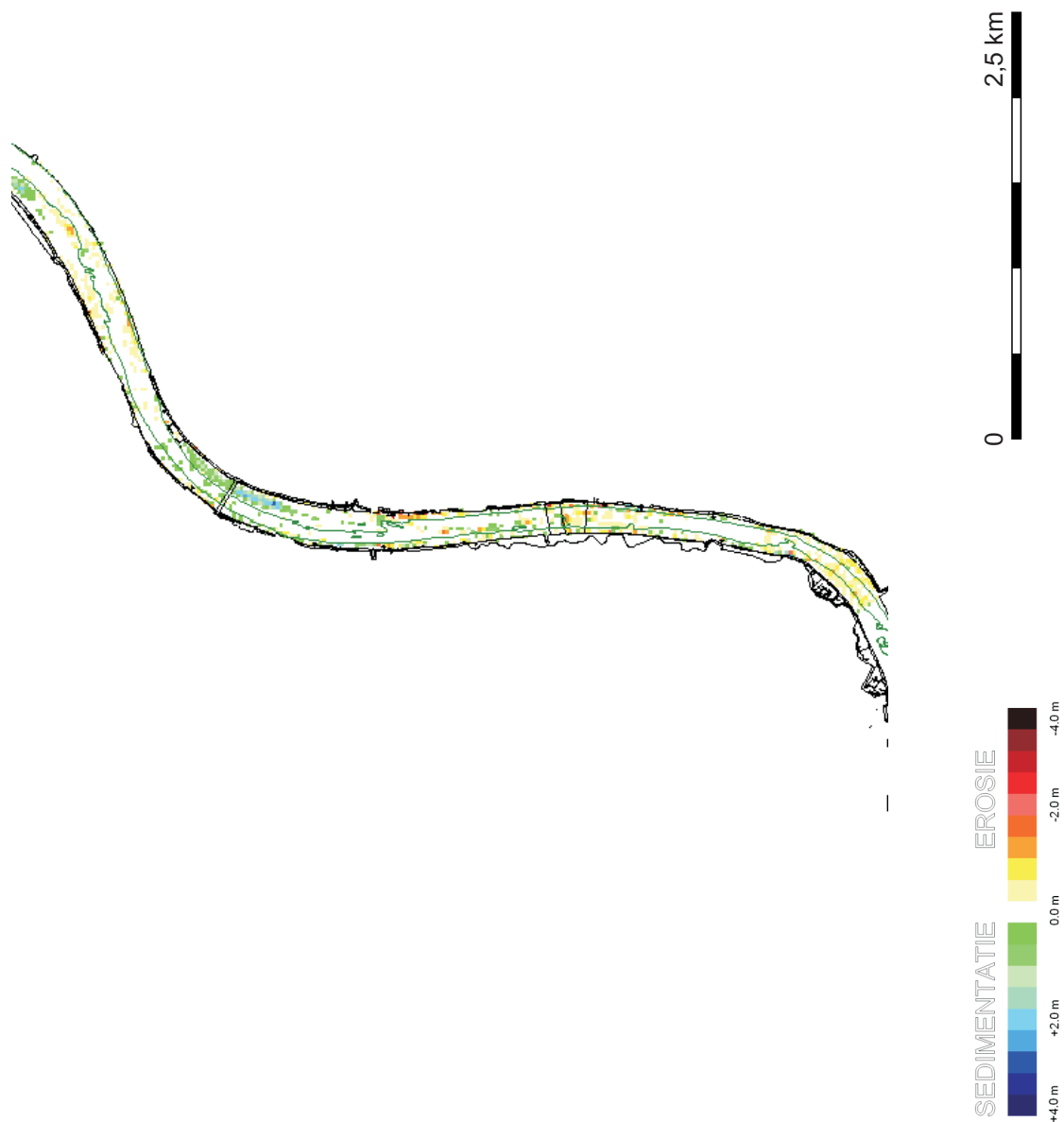
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 60



Zeeschelde Rede Antwerpen-Rupelmonde
Totale erosie-sedimentatie 2003-2005

— -11.0 m NAP

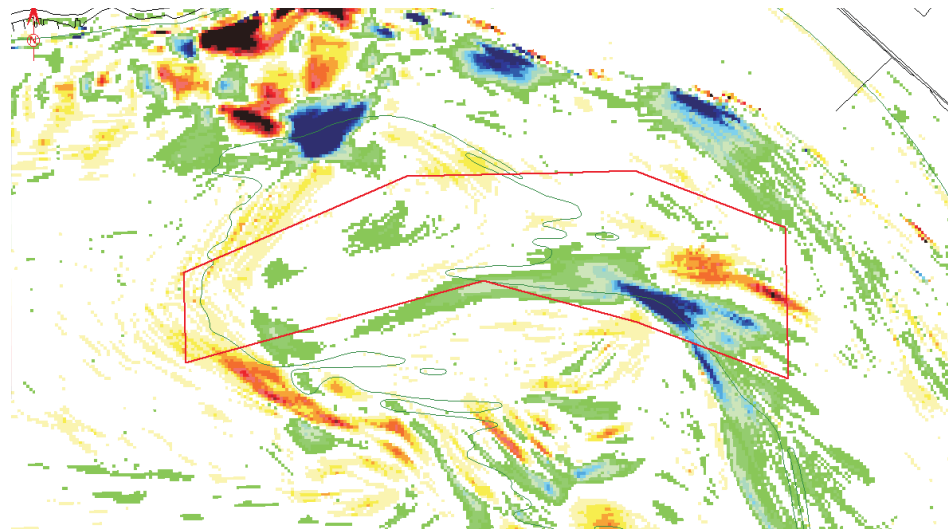


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

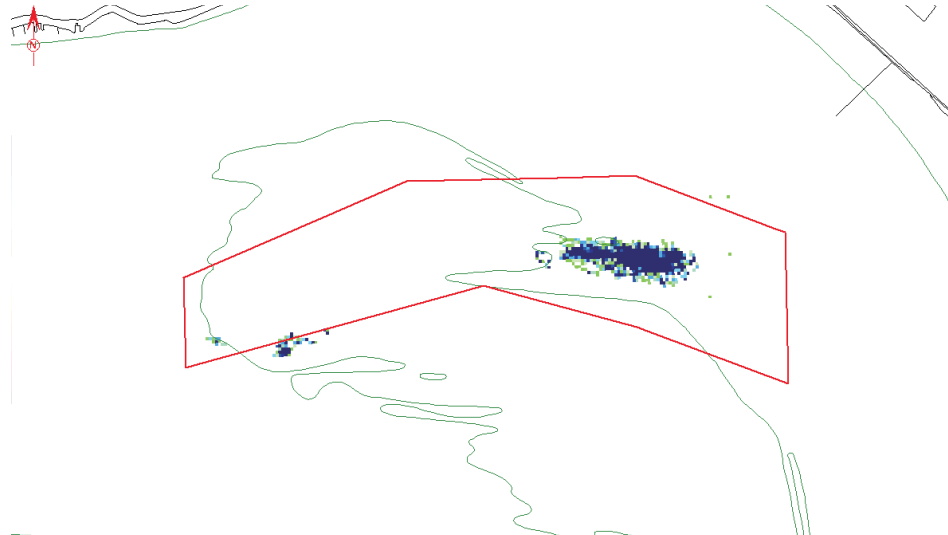
M 791/02

Figuur 61

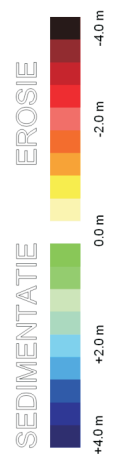
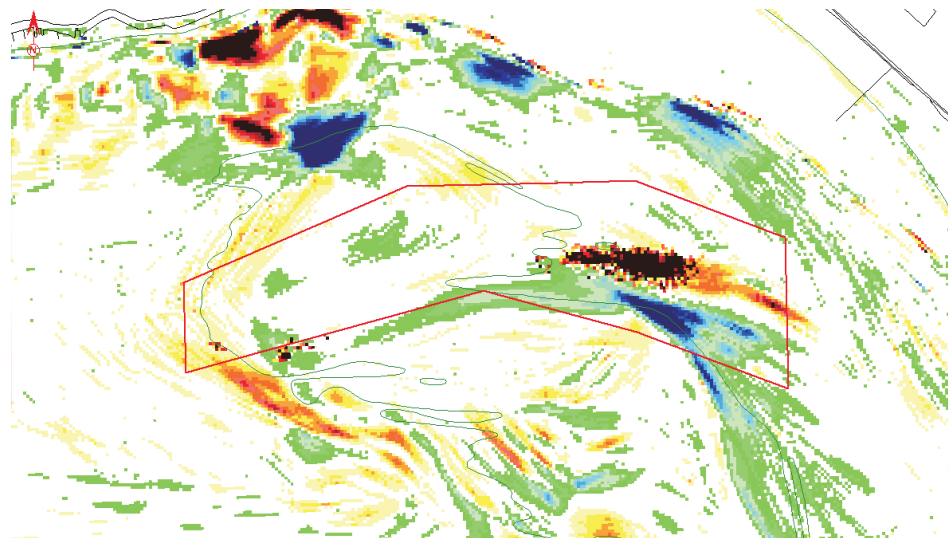
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van de Spijkerplaat
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2001

— -11.0 m NAP

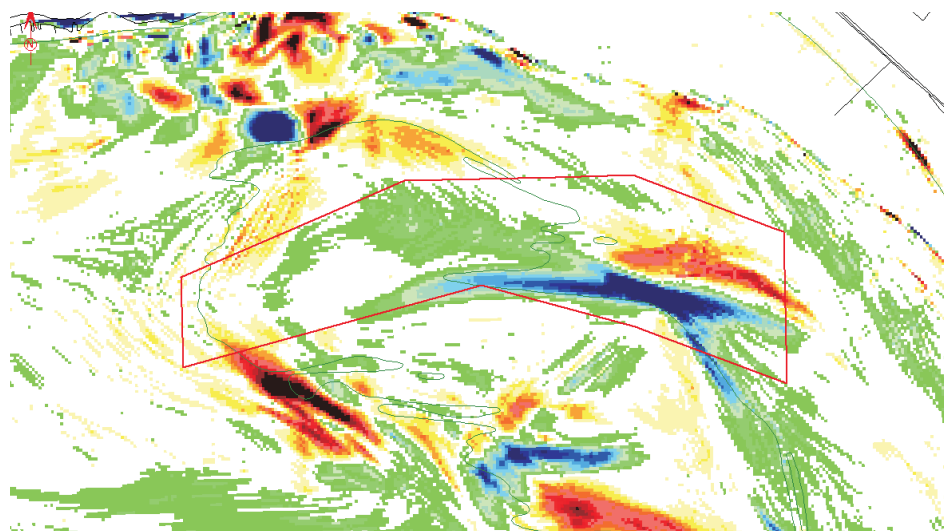


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

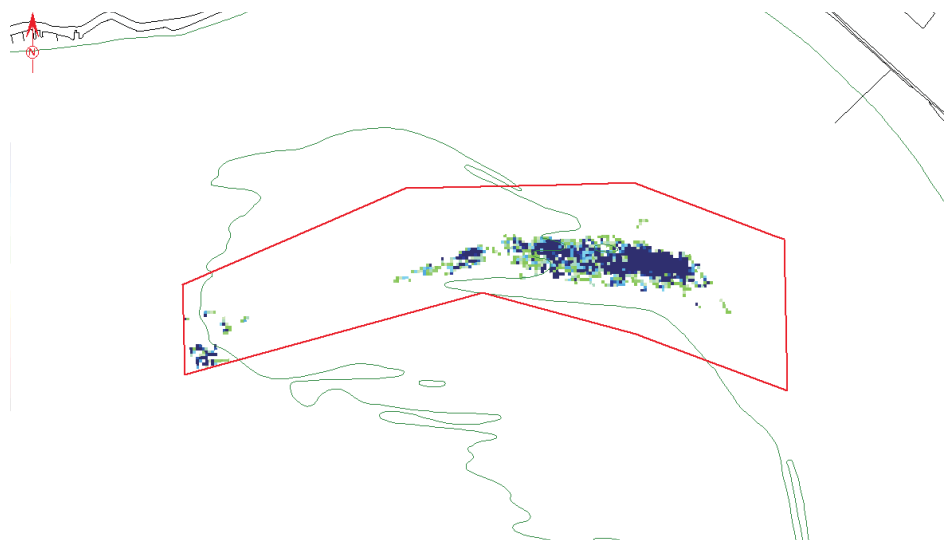
M 791/02

Figuur 62

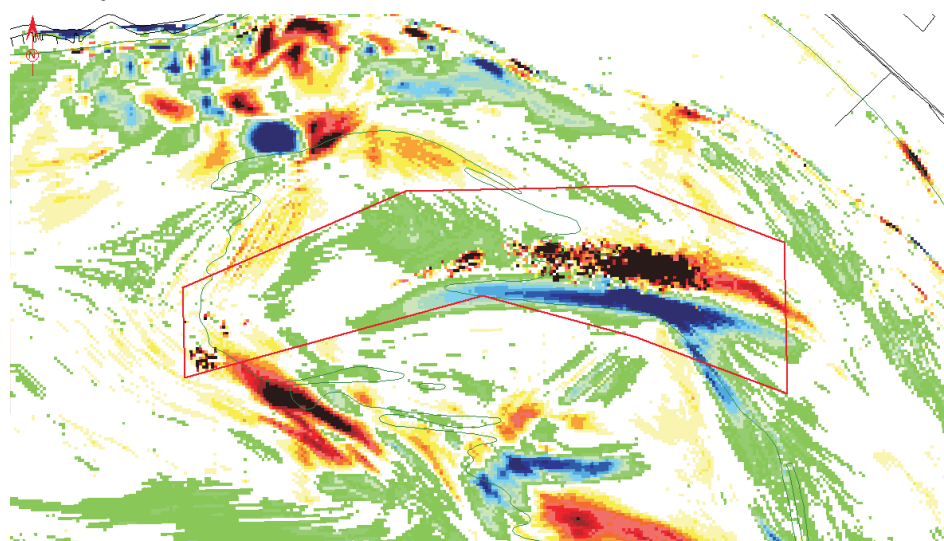
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van de Spijkerplaat
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2002

— -11.0 m NAP

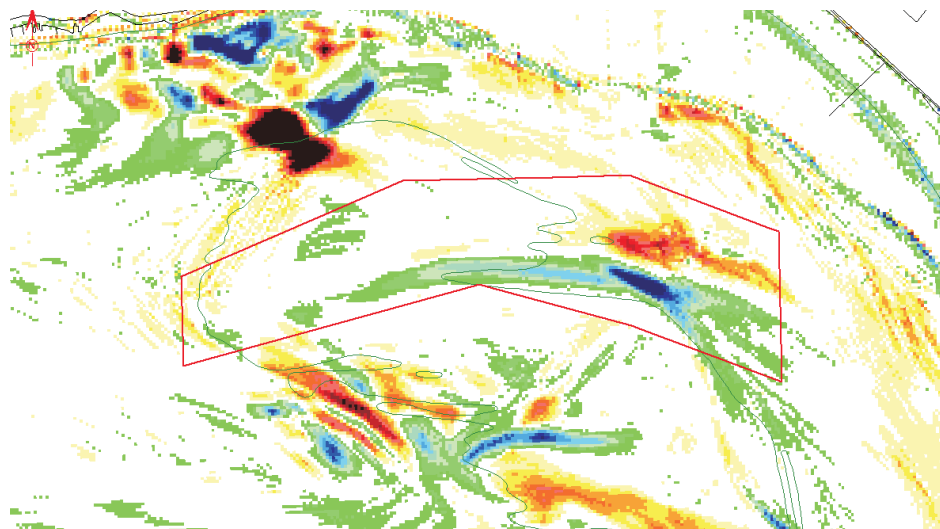


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

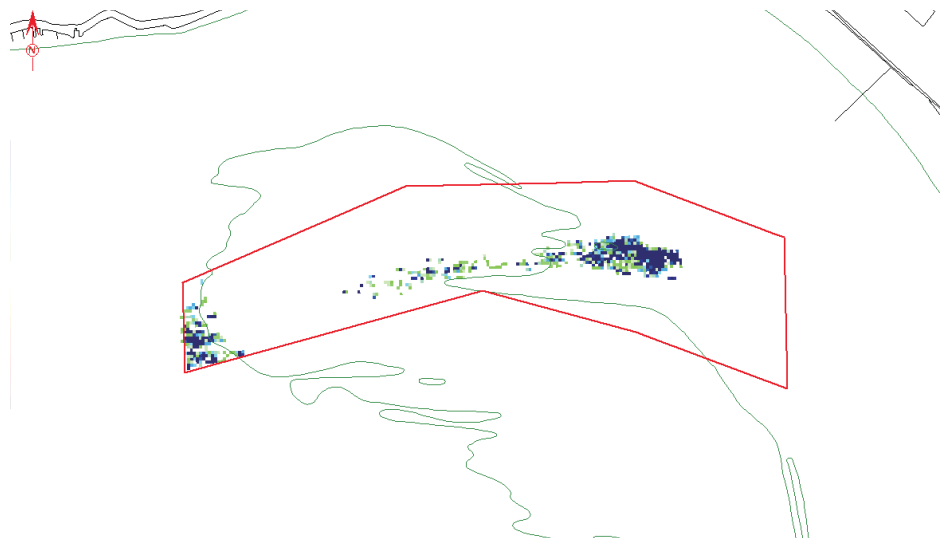
M 791/02

Figuur 63

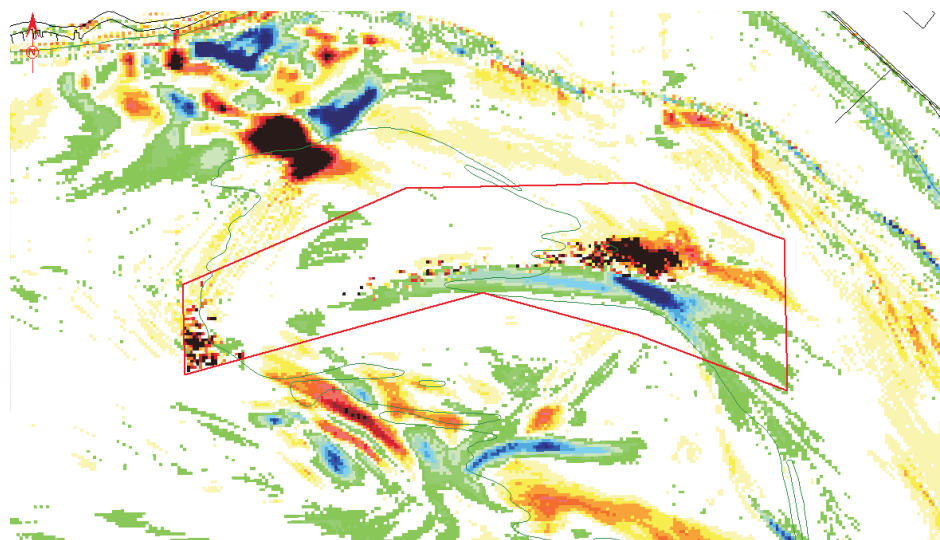
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van de Spijkerplaat
Erosie-sedimentatiepatroon 2002-2003

— -11.0 m NAP

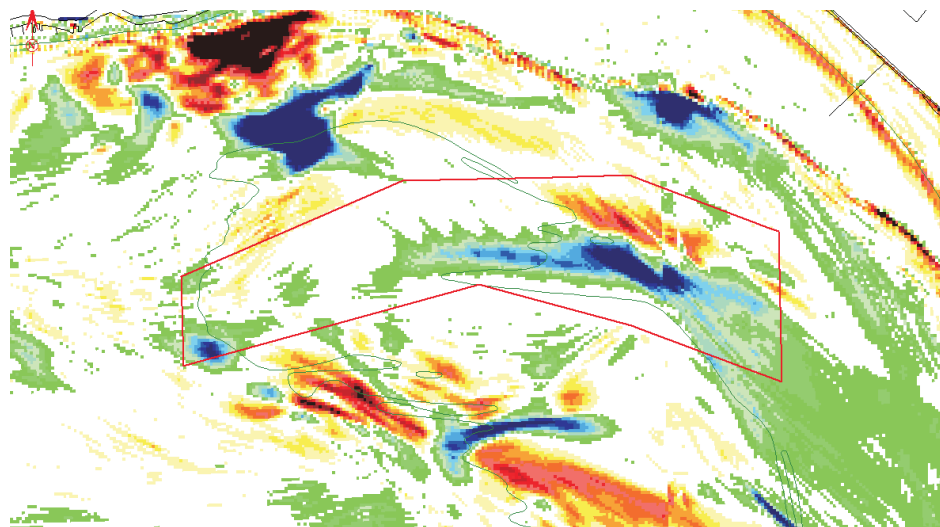


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

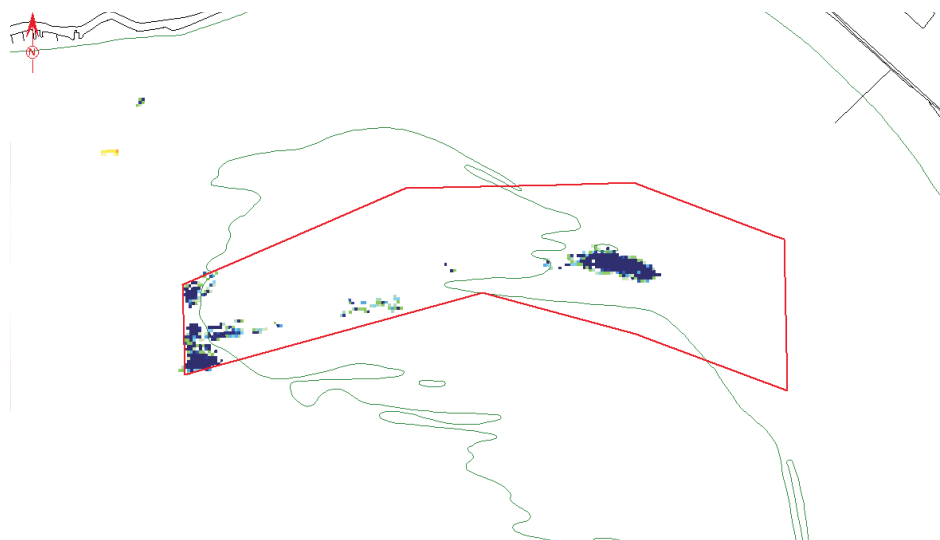
M 791/02

Figuur 64

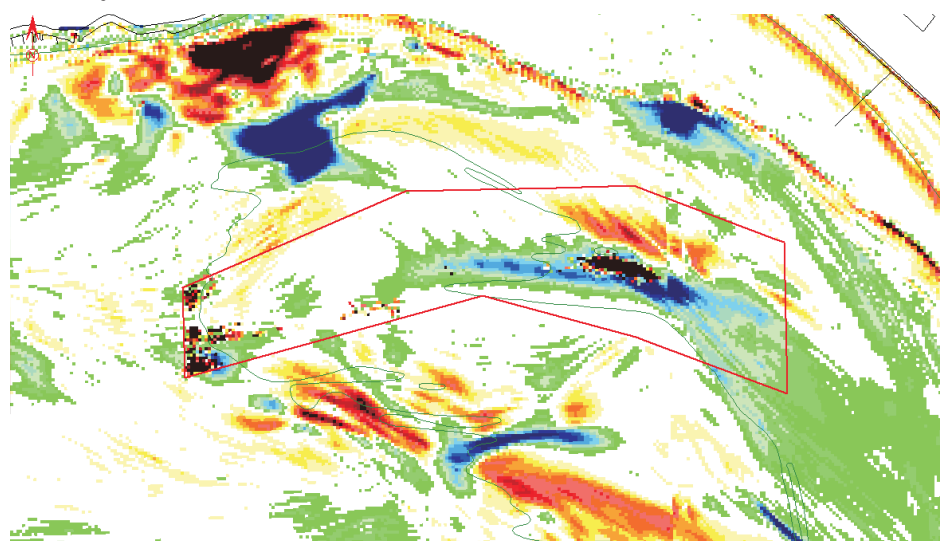
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van de Spijkerplaat
Erosie-sedimentatiepatroon 2003-2004

— -11.0 m NAP

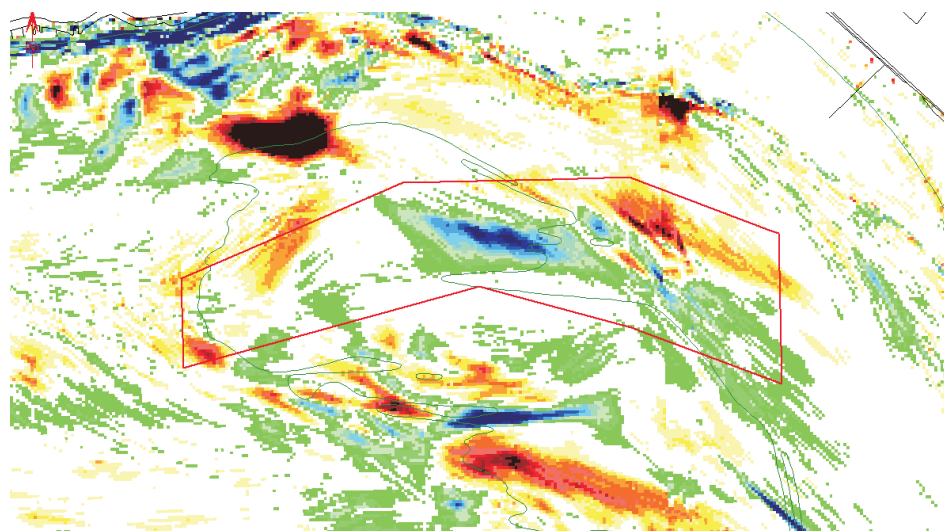


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

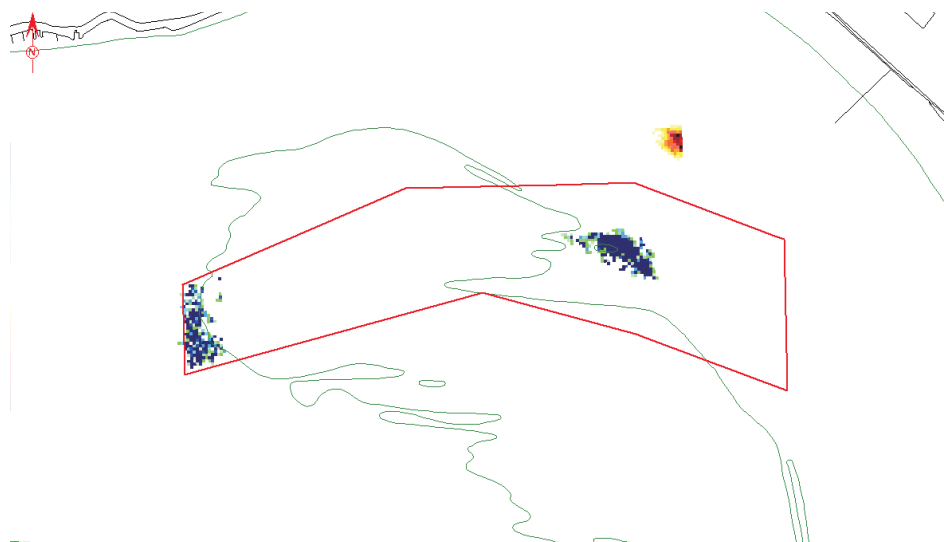
M 791/02

Figuur 65

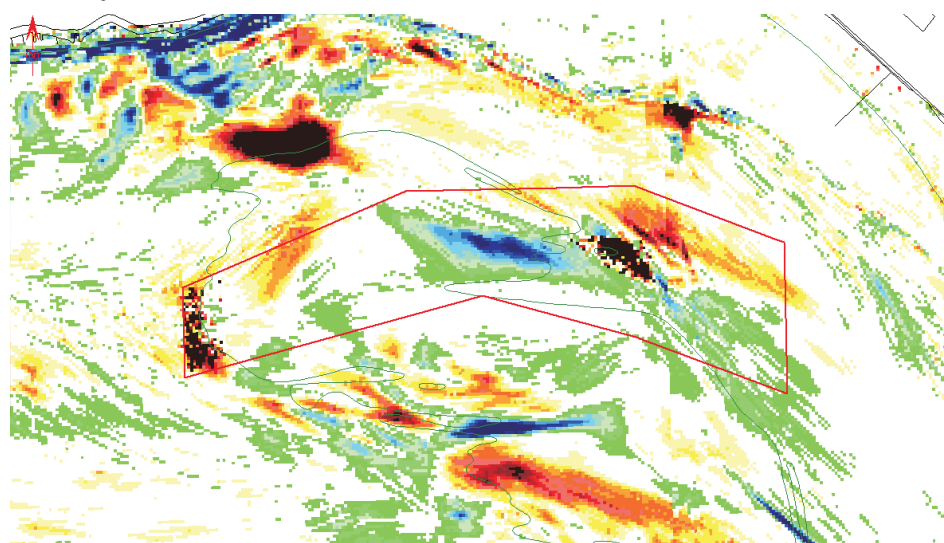
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van de Spijkerplaat
Erosie-sedimentatiepatroon 2004-2005

— -11.0 m NAP

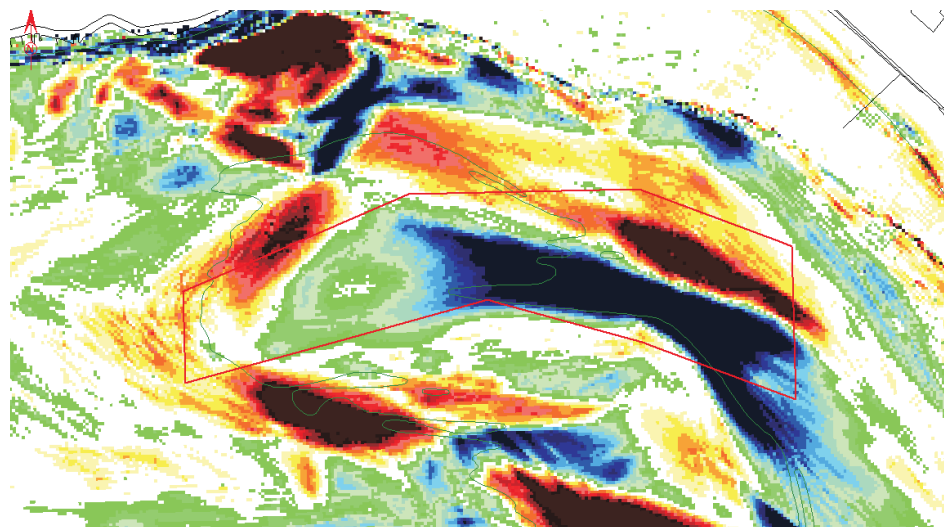


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

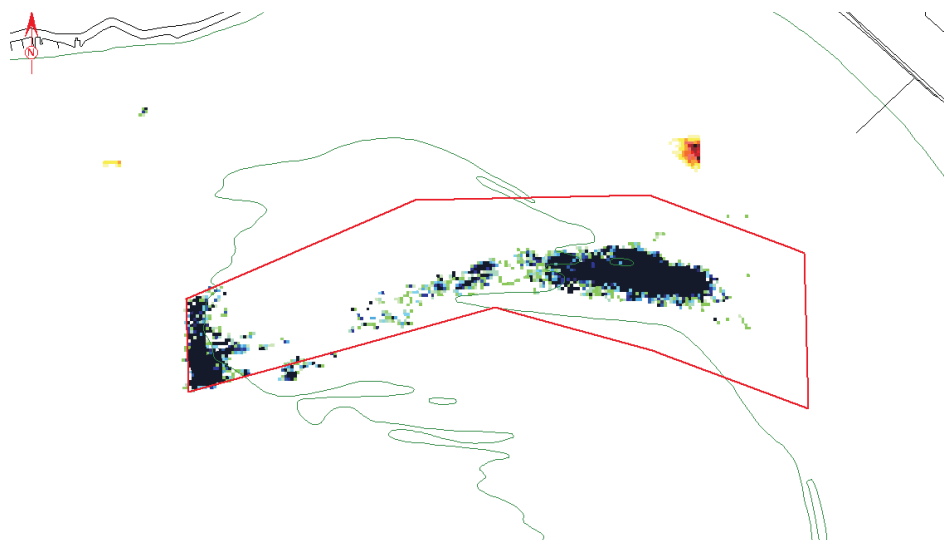
M 791/02

Figuur 66

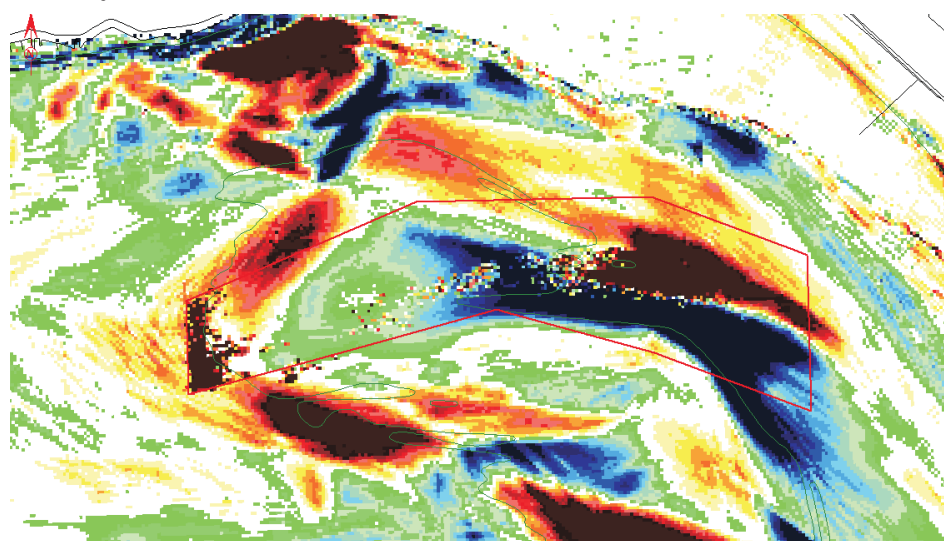
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van de Spijkerplaat
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2005

— -11.0 m NAP

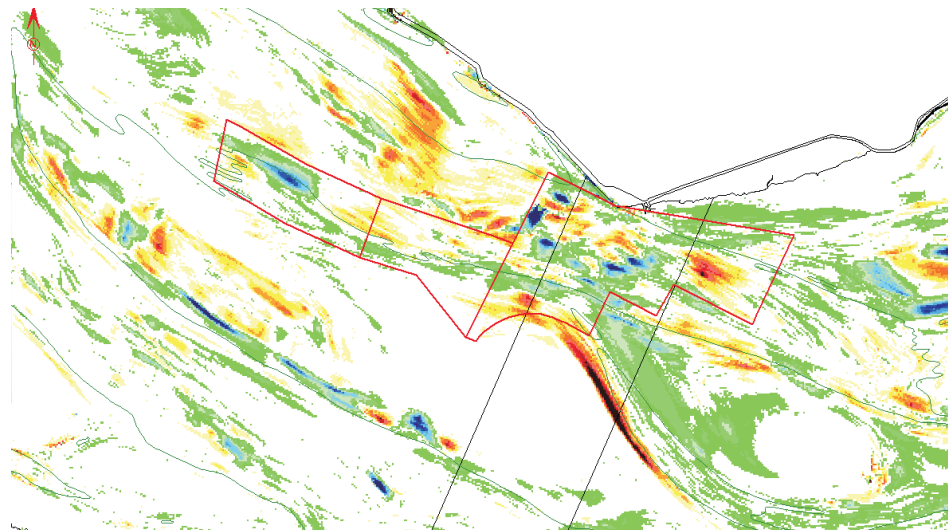


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 67

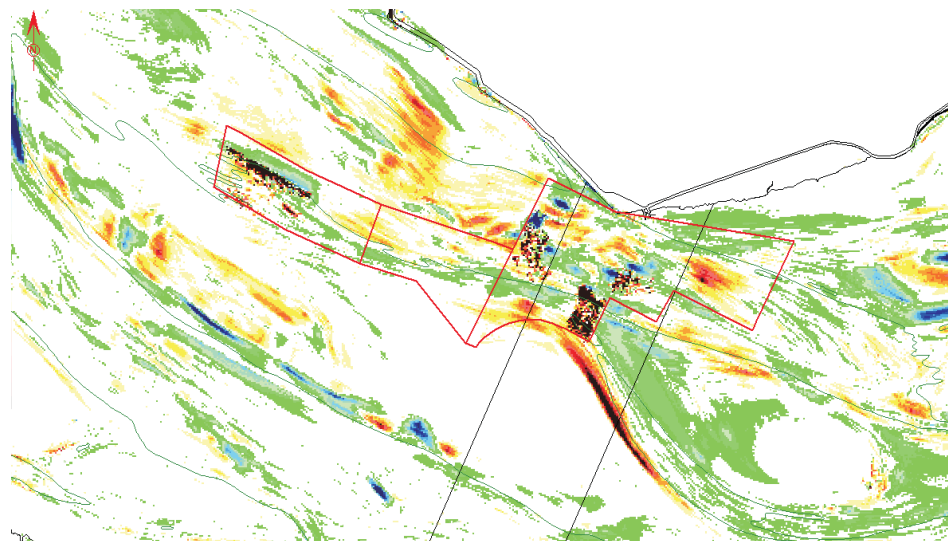
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Vloedschaar Everingen & Ellewoutsdijk
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2001

— -11.0 m NAP

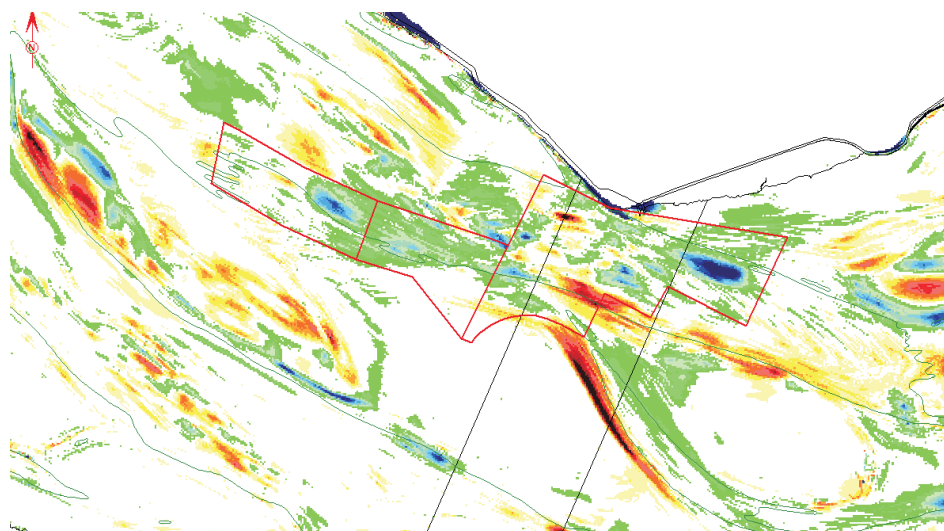


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

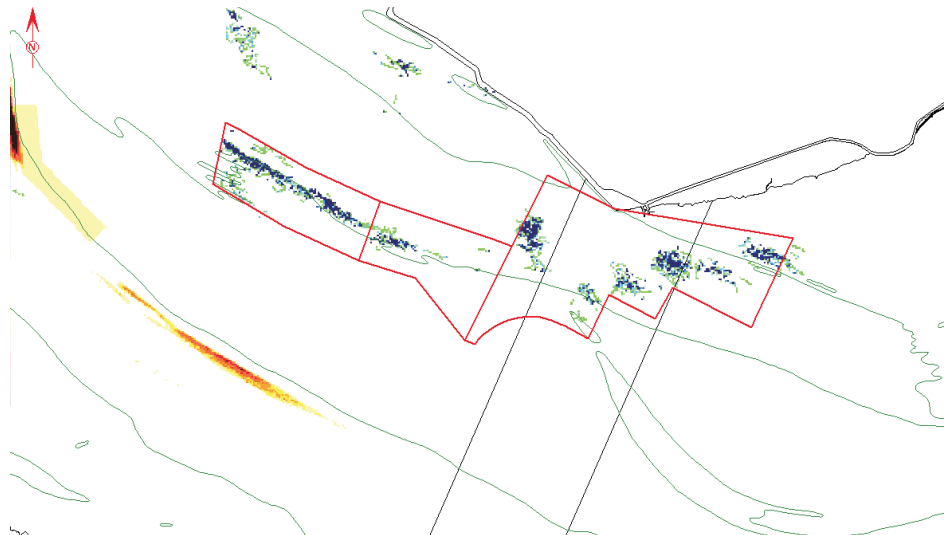
M 791/02

Figuur 68

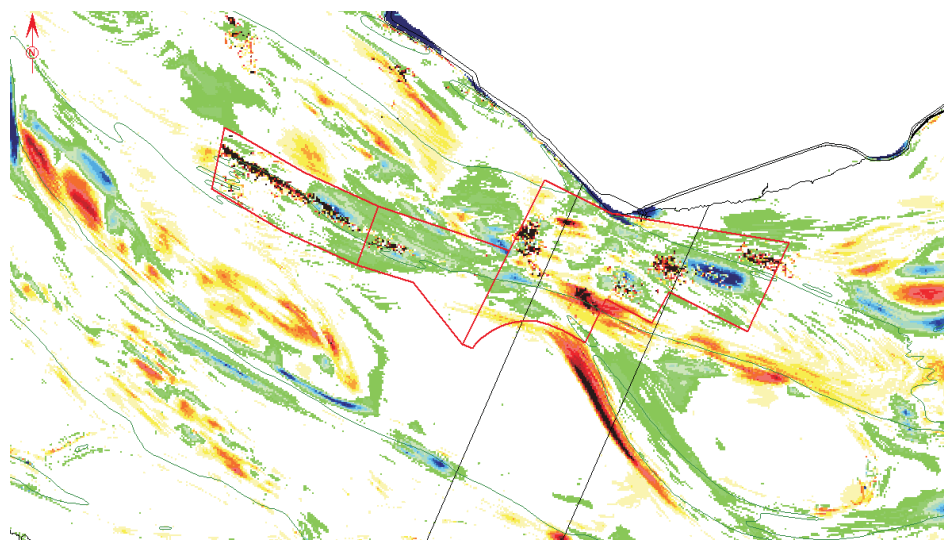
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Vloedschaar Everingen & Ellewoutsdijk
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2002

— -11.0 m NAP

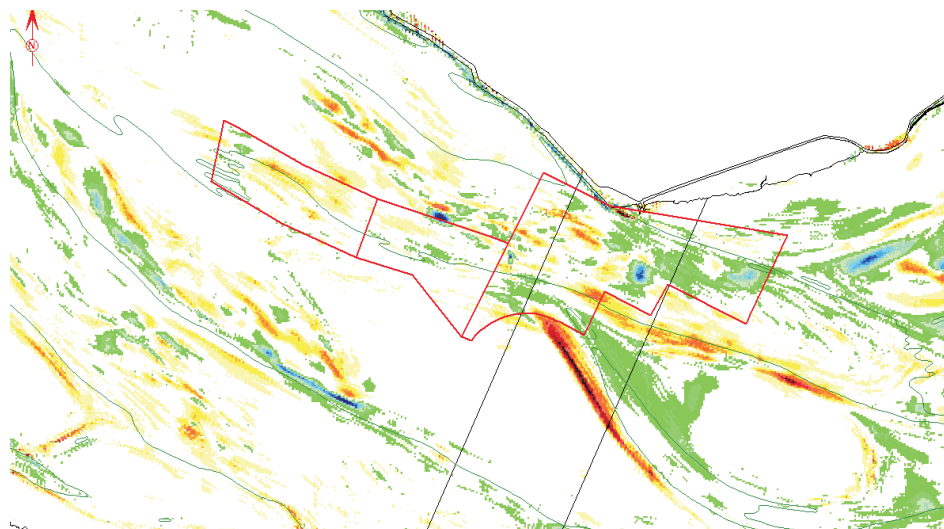


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

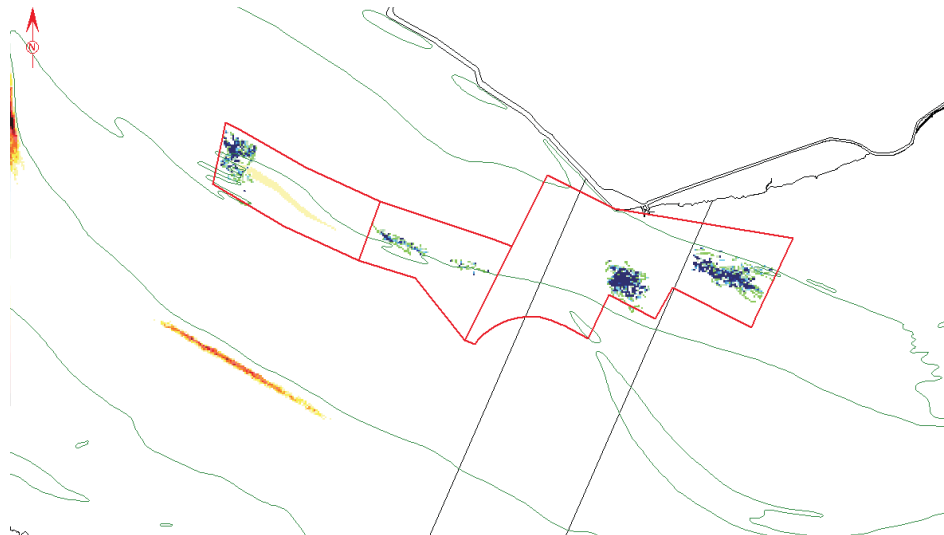
M 791/02

Figuur 69

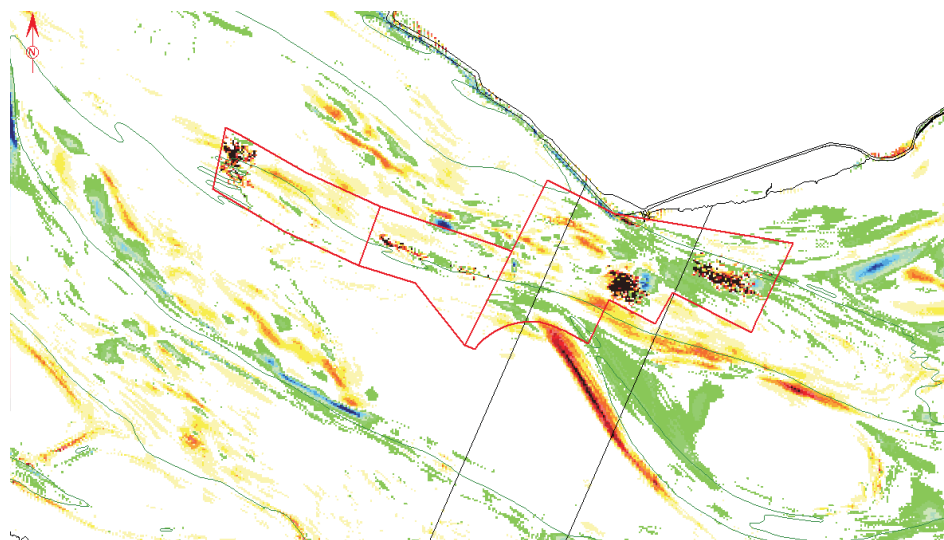
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Vloedschaar Everingen & Ellewoutsdijk
Erosie-sedimentatiepatroon 2002-2003

— -11.0 m NAP

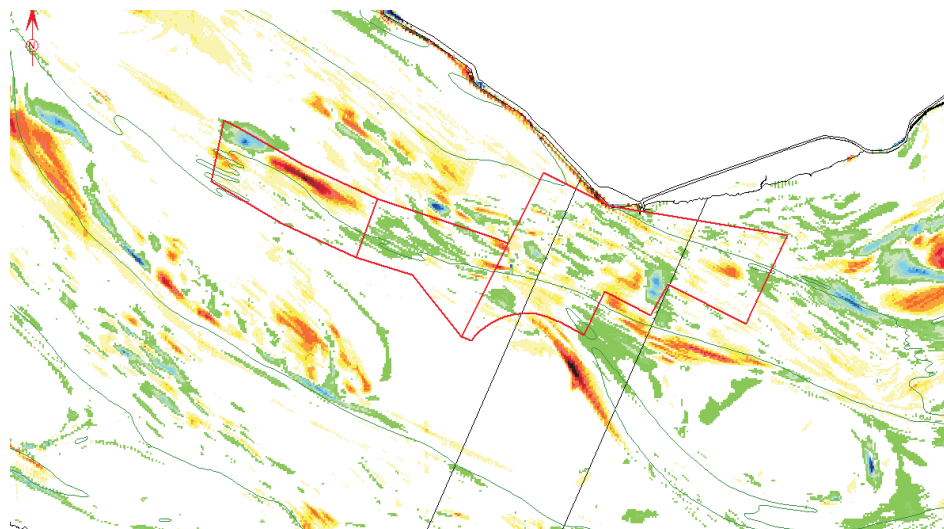


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

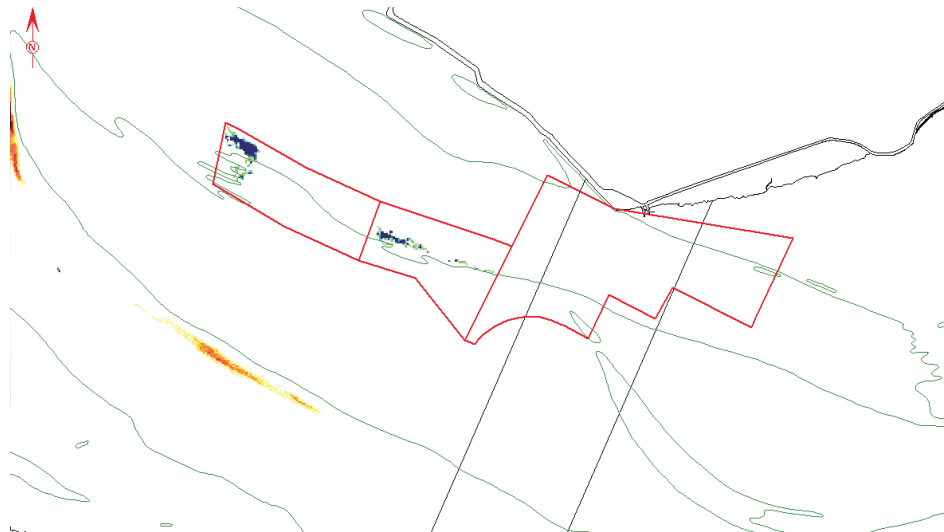
M 791/02

Figuur 70

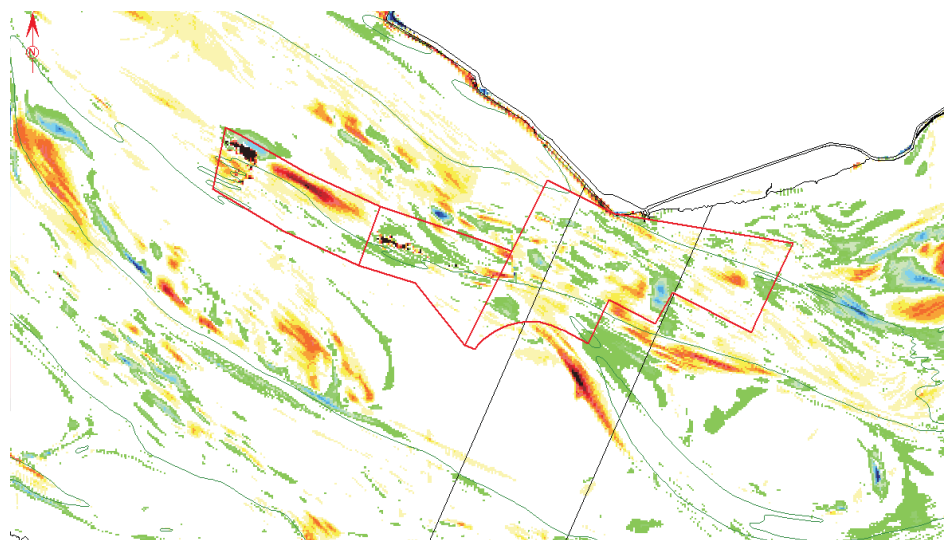
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Vloedschaar Everingen & Ellewoutsdijk
Erosie-sedimentatiepatroon 2003-2004

— -11.0 m NAP

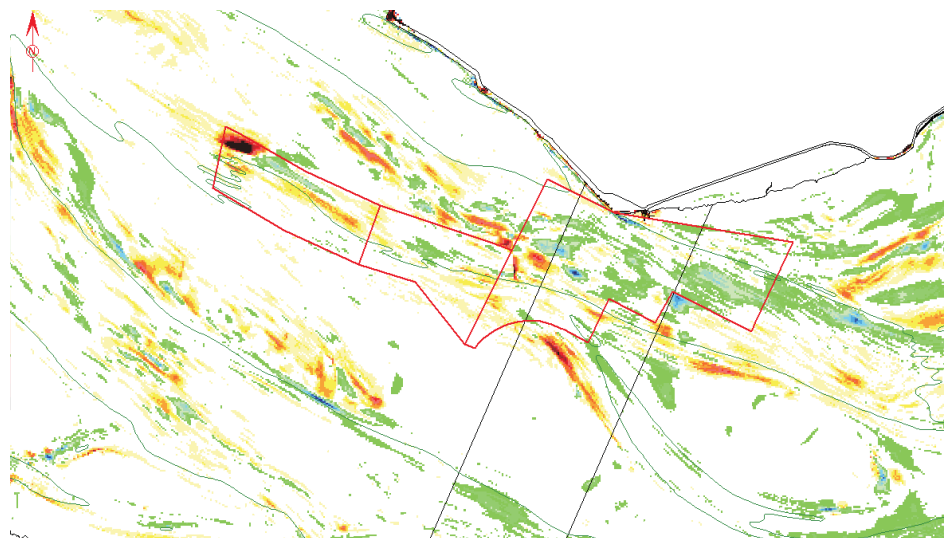


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

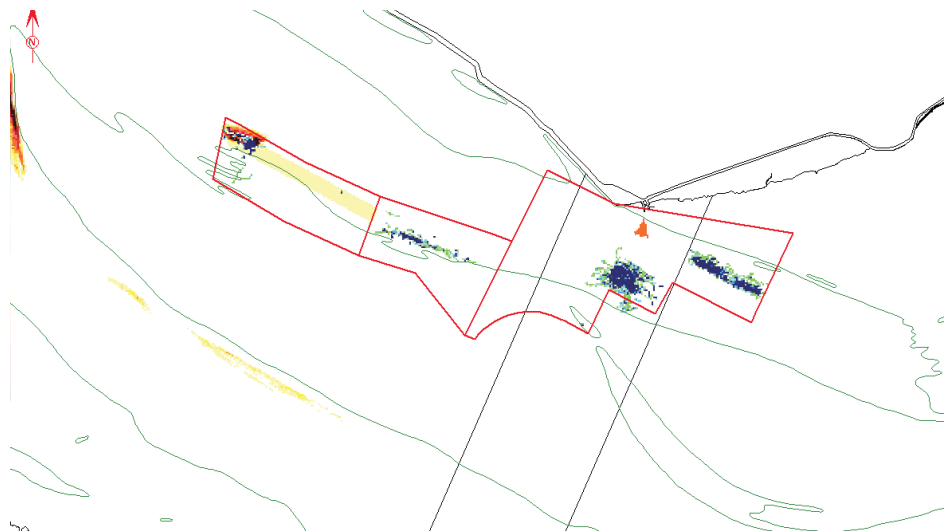
M 791/02

Figuur 71

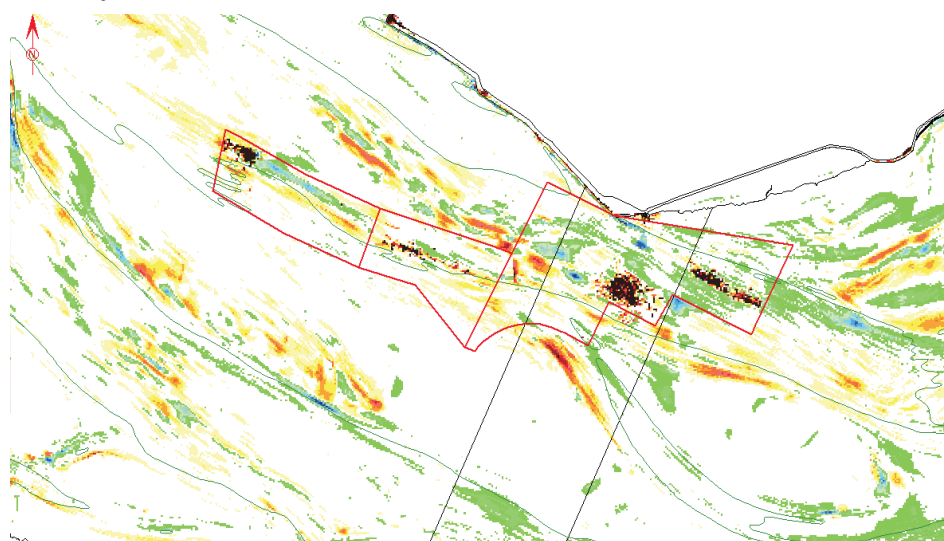
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Vloedschaar Everingen & Ellewoutsdijk
Erosie-sedimentatiepatroon 2004-2005

— -11.0 m NAP

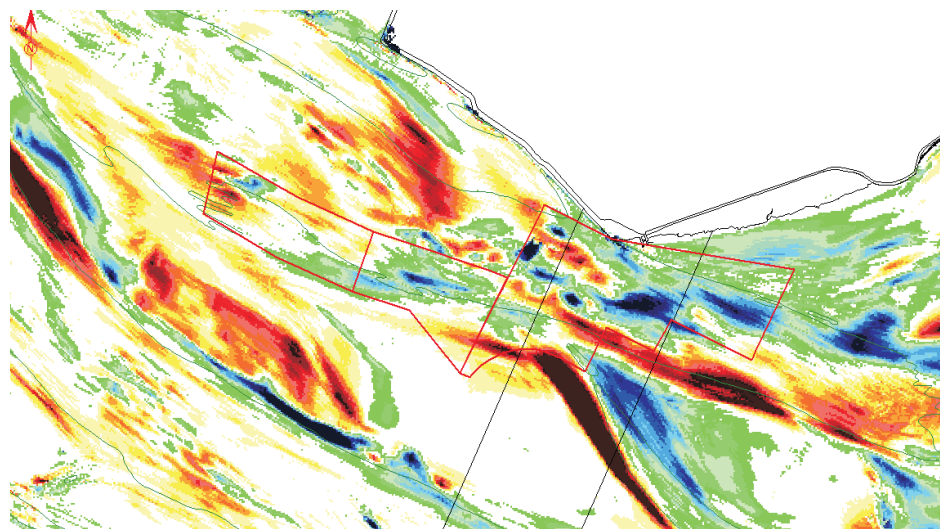


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

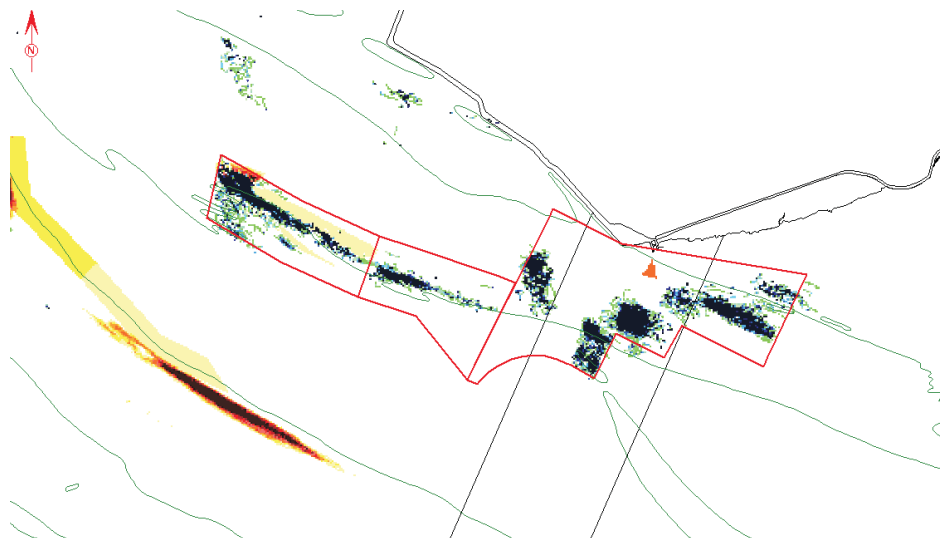
M 791/02

Figuur 72

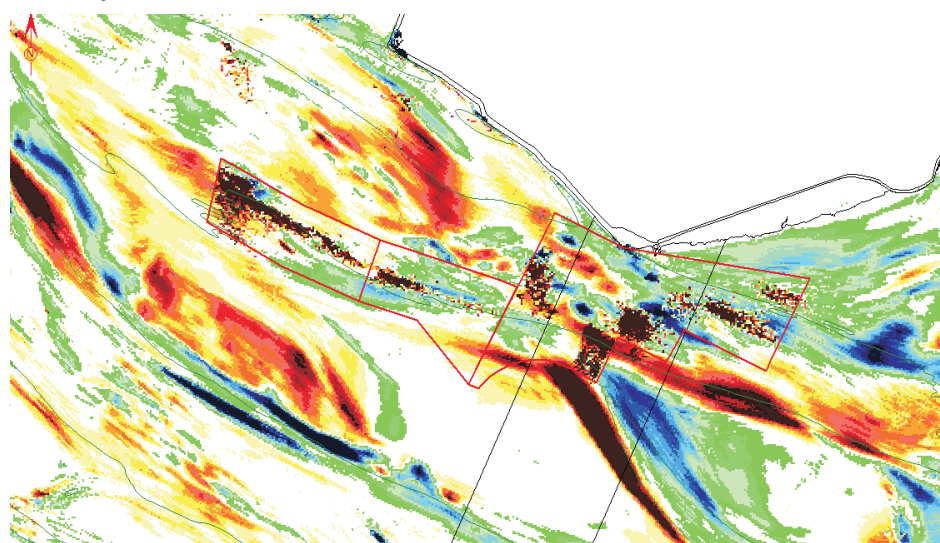
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Vloedschaar Everingen & Ellewoutsdijk
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2005

— -11.0 m NAP

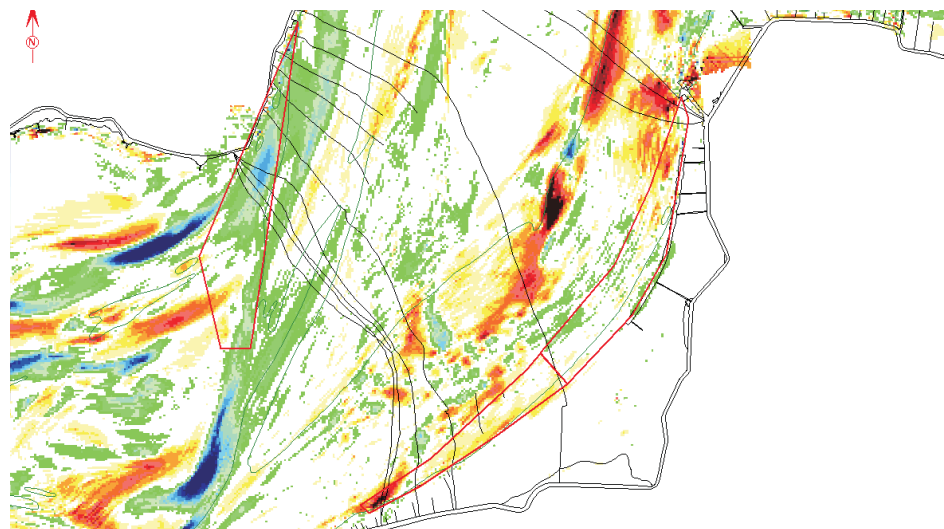


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

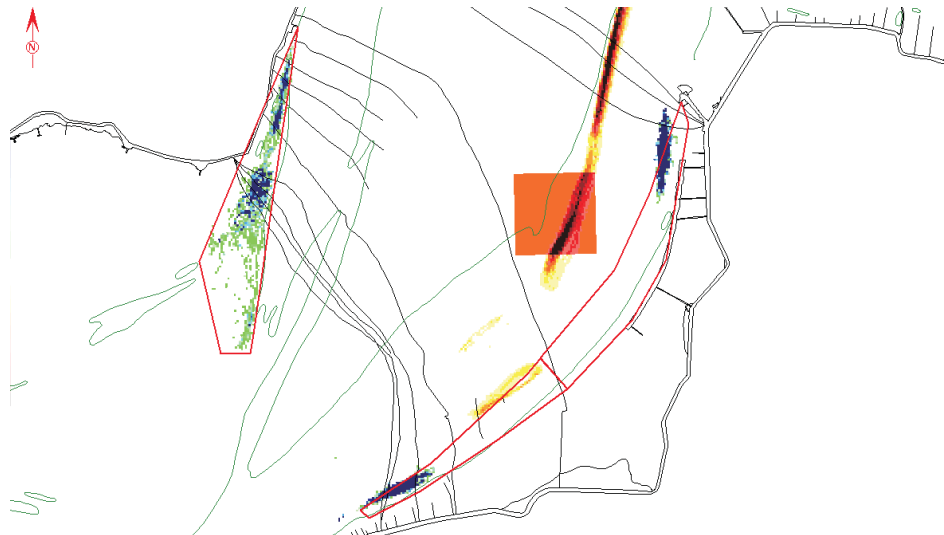
M 791/02

Figuur 73

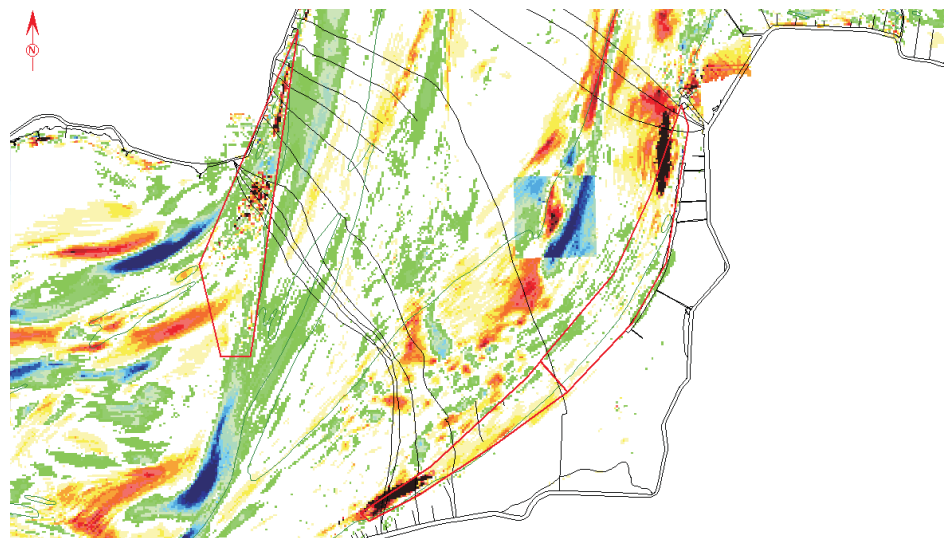
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Ebschaar Everingen & Gat van Ossenis
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2001

— -11.0 m NAP

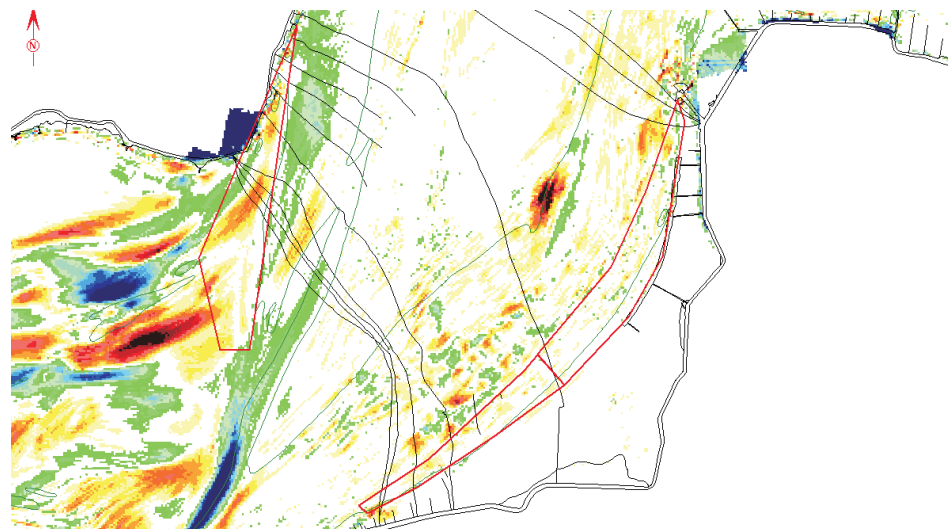


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

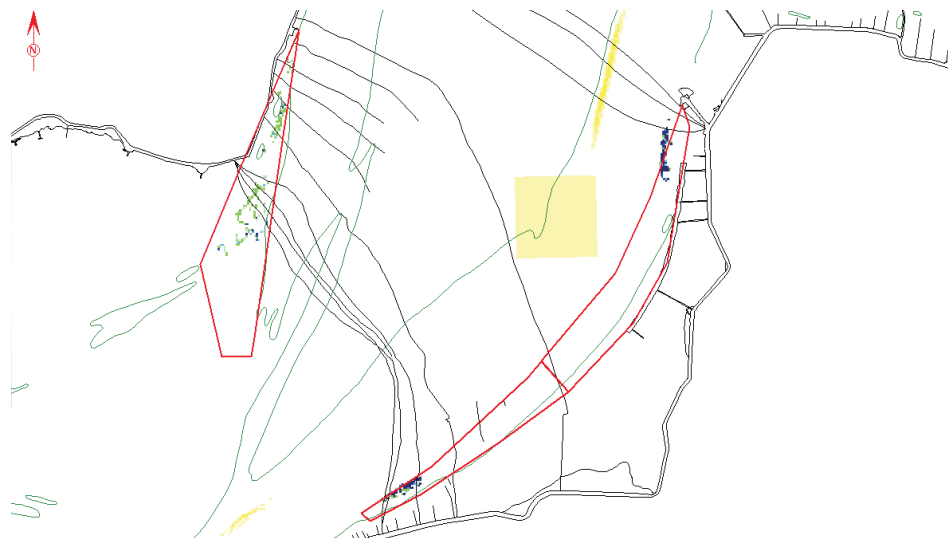
M 791/02

Figuur 74

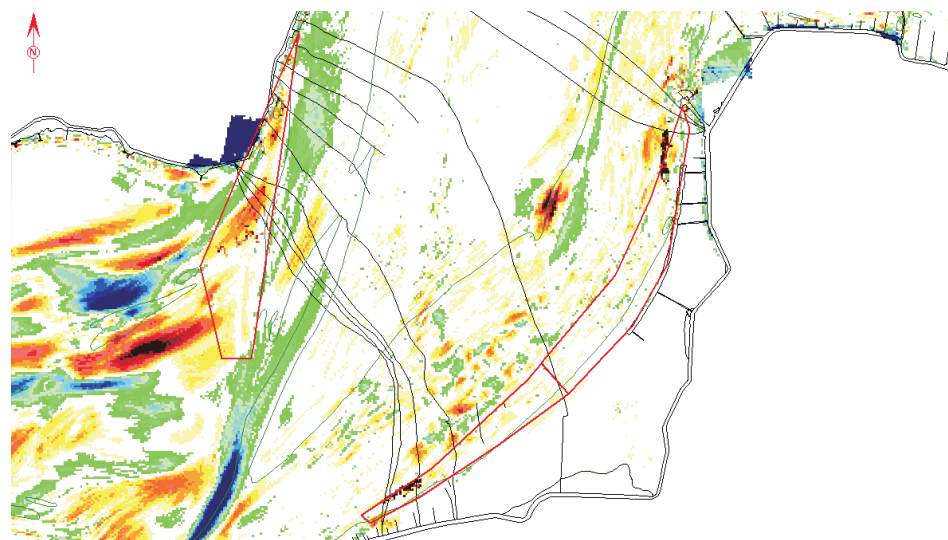
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Ebschaar Everingen & Gat van Ossenis
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2002

— -11.0 m NAP

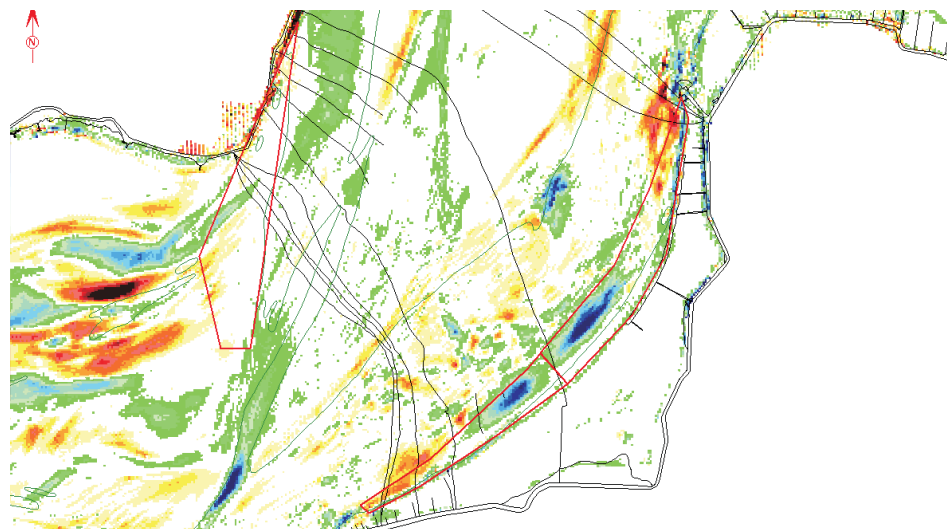


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 75

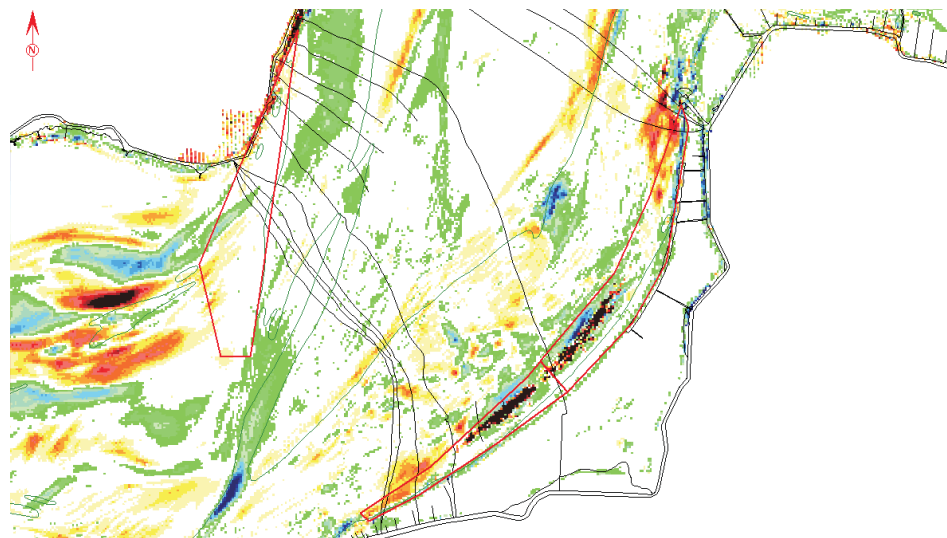
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Ebschaar Everingen & Gat van Ossenisse
Erosie-sedimentatiepatroon 2002-2003

— -11.0 m NAP

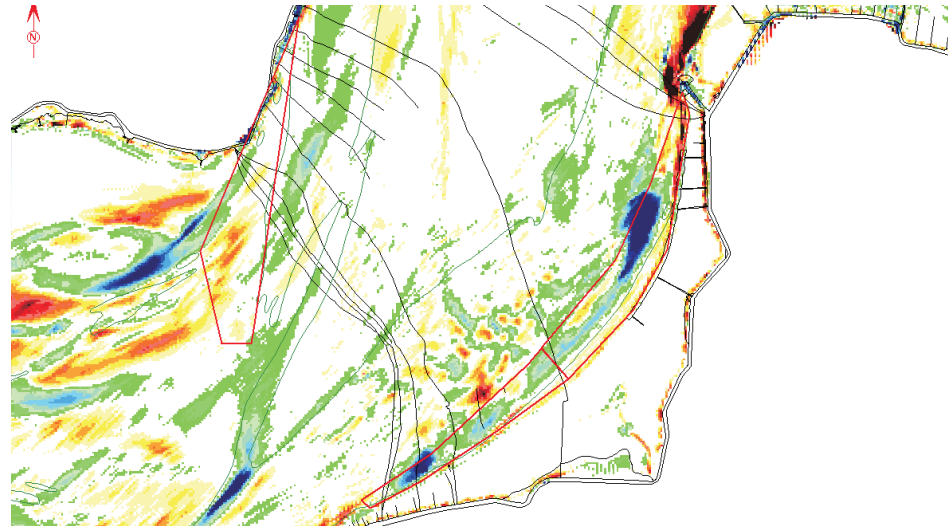


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

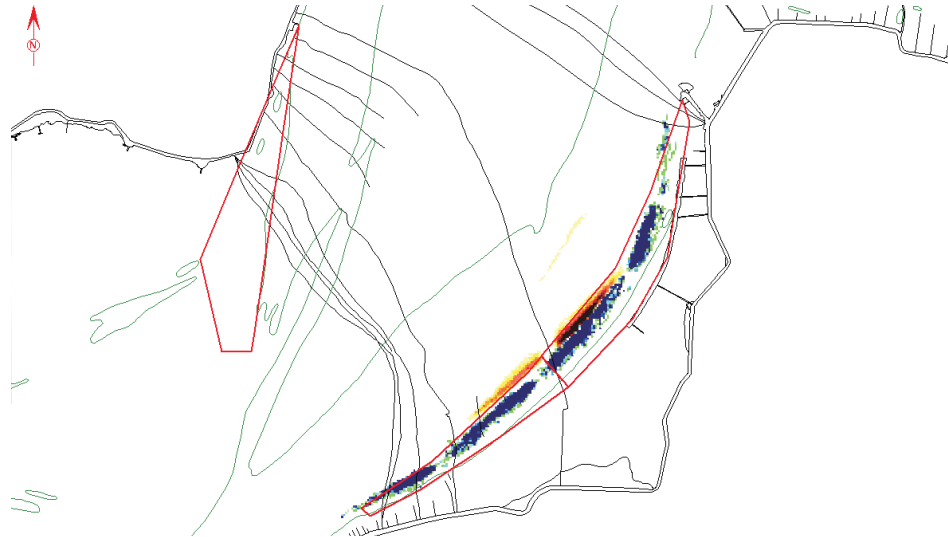
M 791/02

Figuur 76

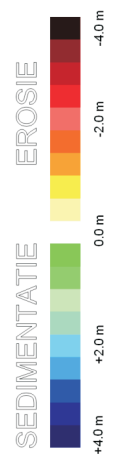
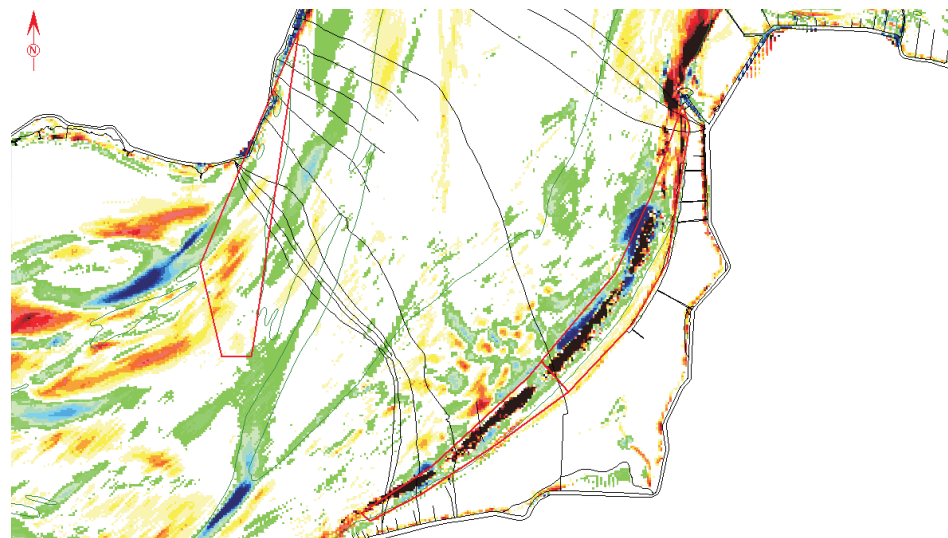
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Ebschaar Everingen & Gat van Ossensisse
Erosie-sedimentatiepatroon 2003-2004

— -11.0 m NAP

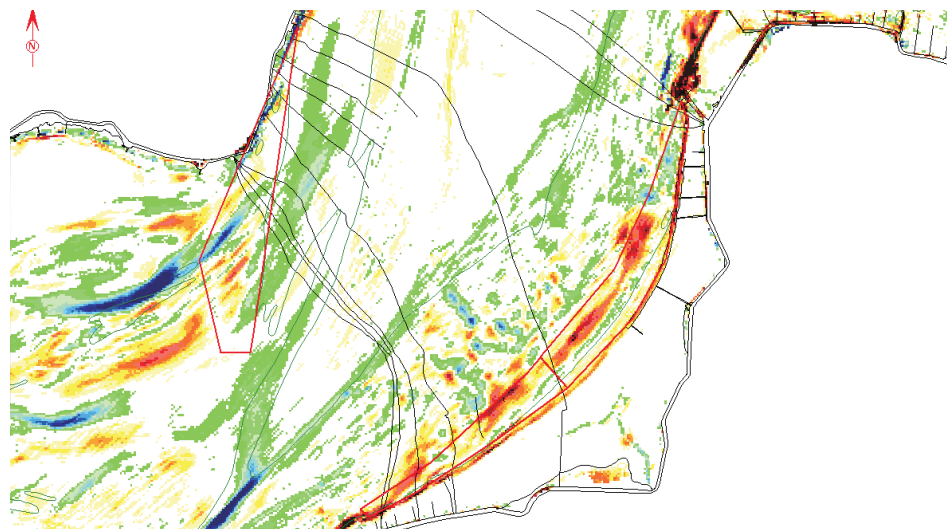


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

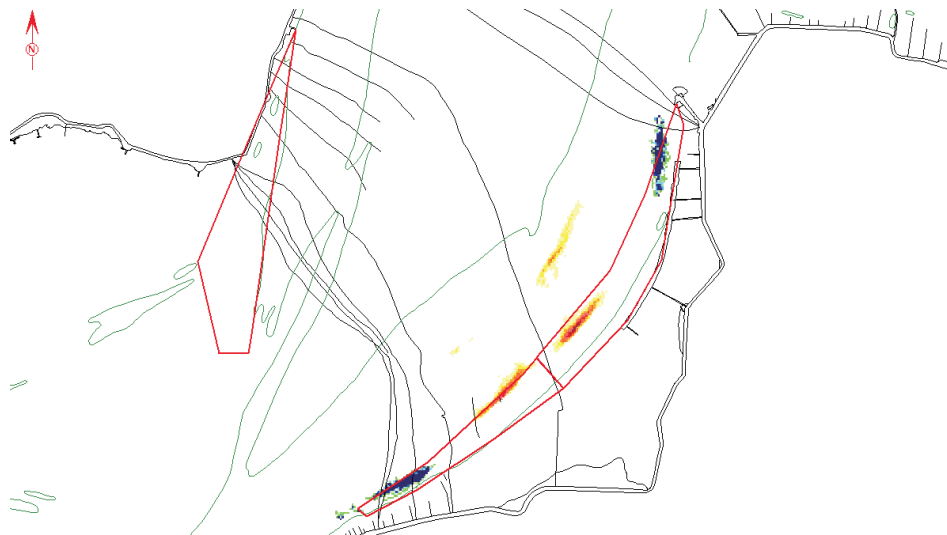
M 791/02

Figuur 77

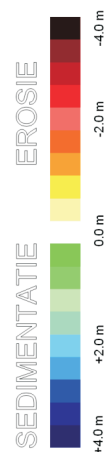
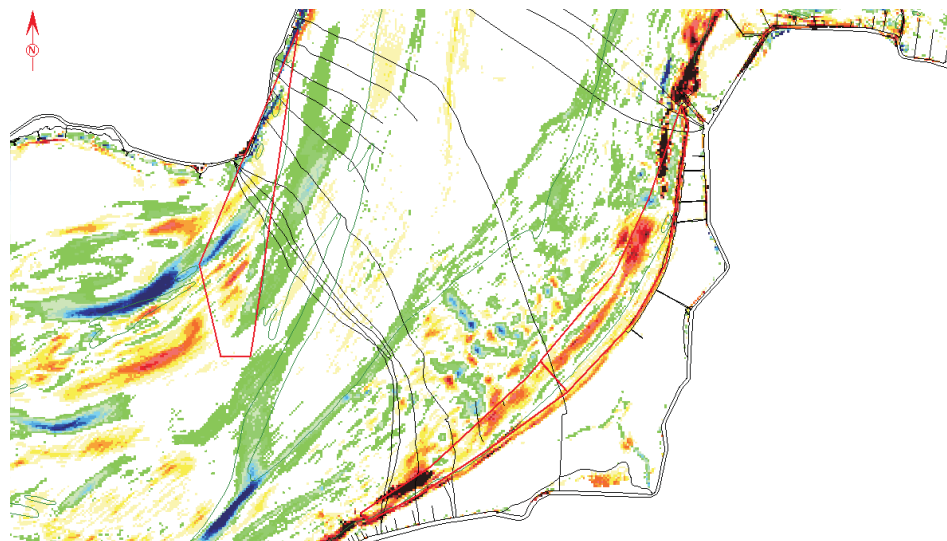
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Ebschaar Everingen & Gat van Ossenisse
Erosie-sedimentatiepatroon 2004-2005

— -11.0 m NAP

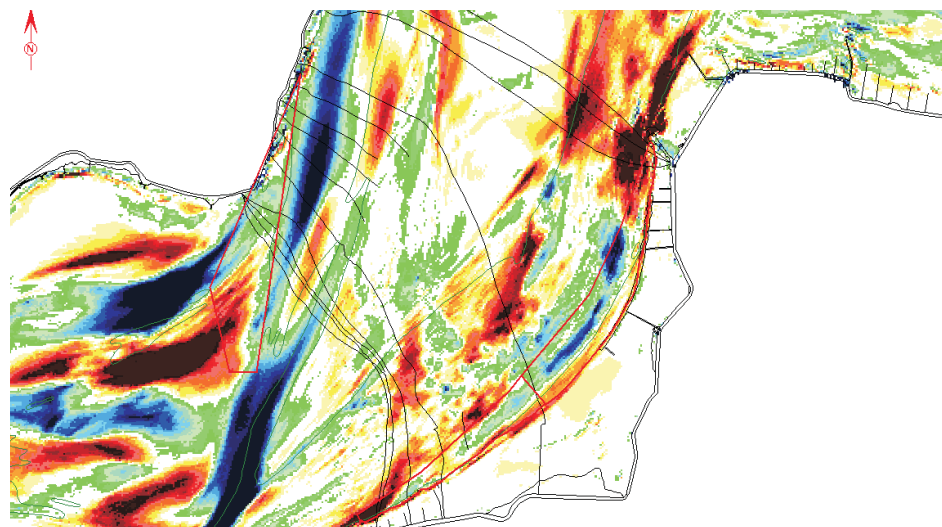


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

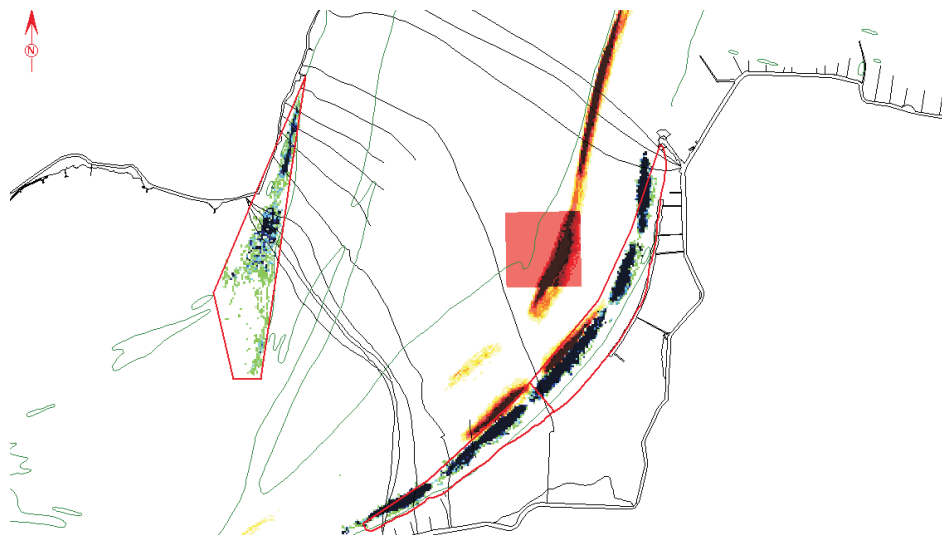
M 791/02

Figuur 78

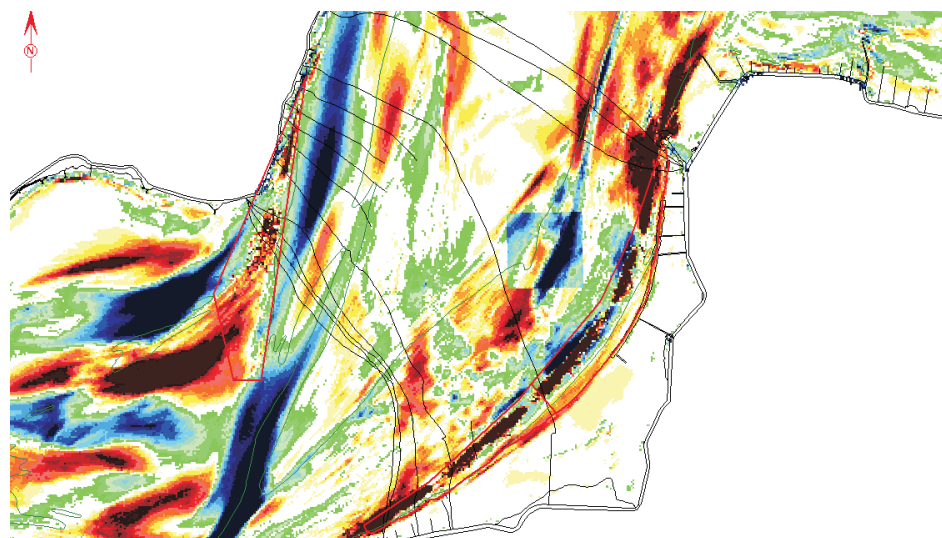
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Ebschaar Everingen & Gat van Ossensisse
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2005

— -11.0 m NAP

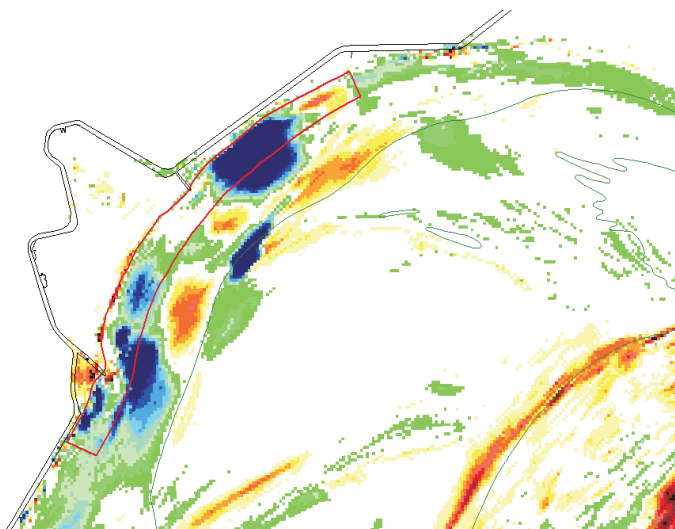


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 79

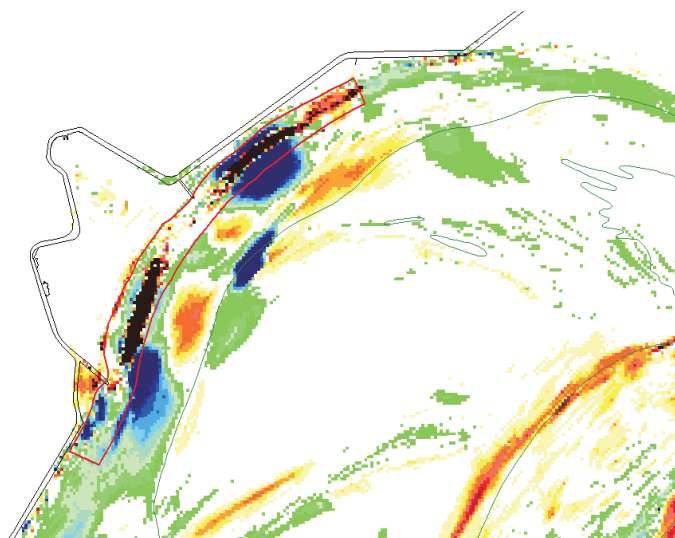
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Biezelingse Ham
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2001

— -11.0 m NAP

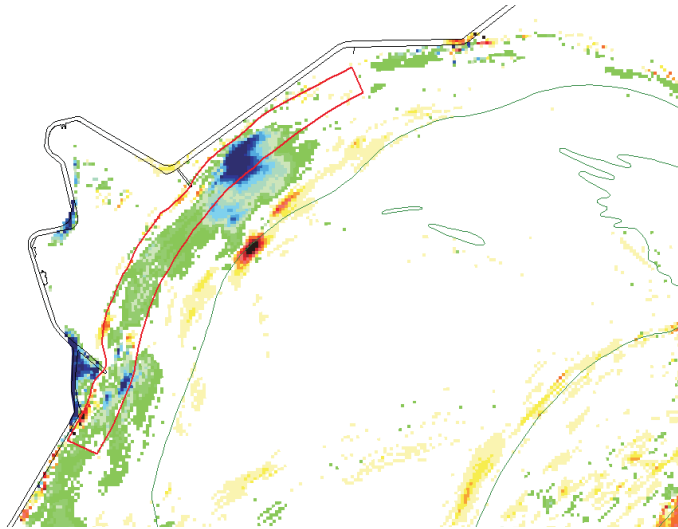


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 80

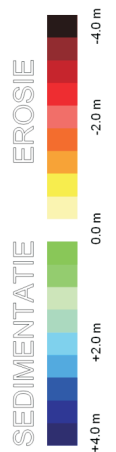
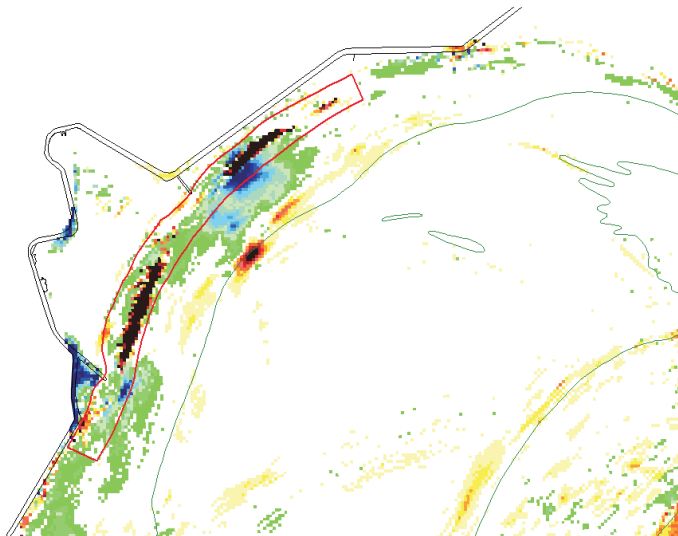
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Biezelingse Ham
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2002

— -11.0 m NAP

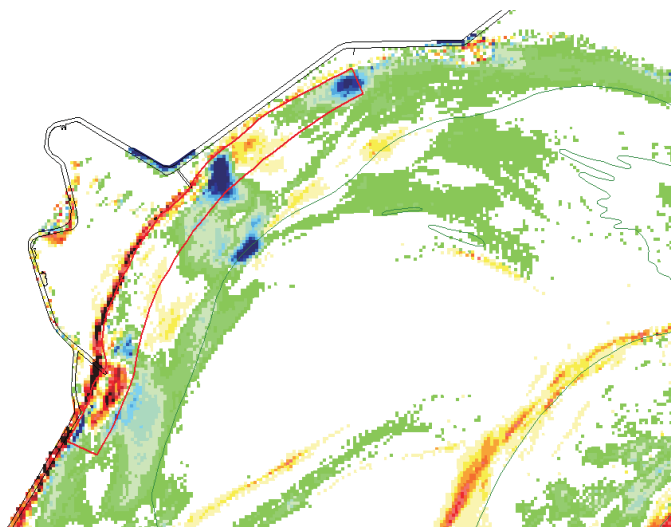


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

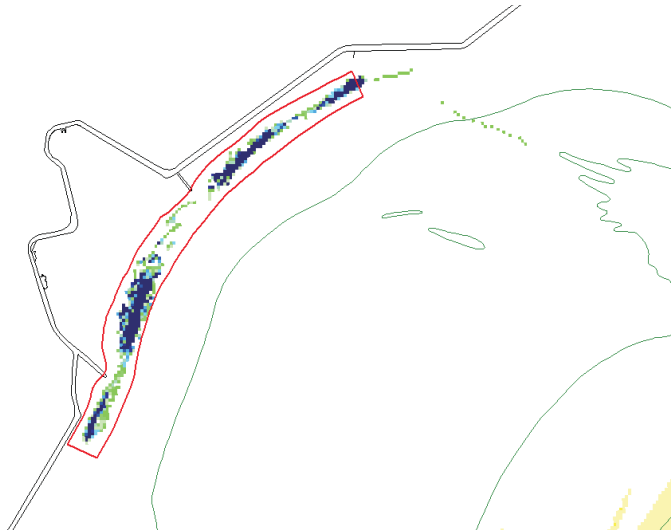
M 791/02

Figuur 81

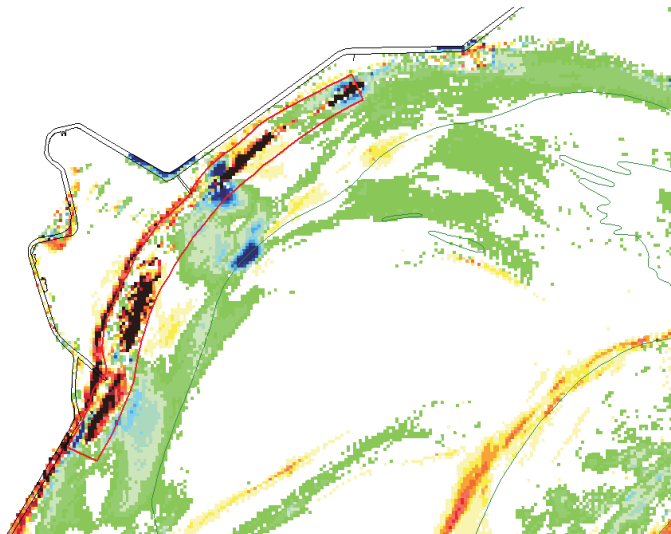
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Biezelingse Ham
Erosie-sedimentatiepatroon 2002-2003

— -11.0 m NAP

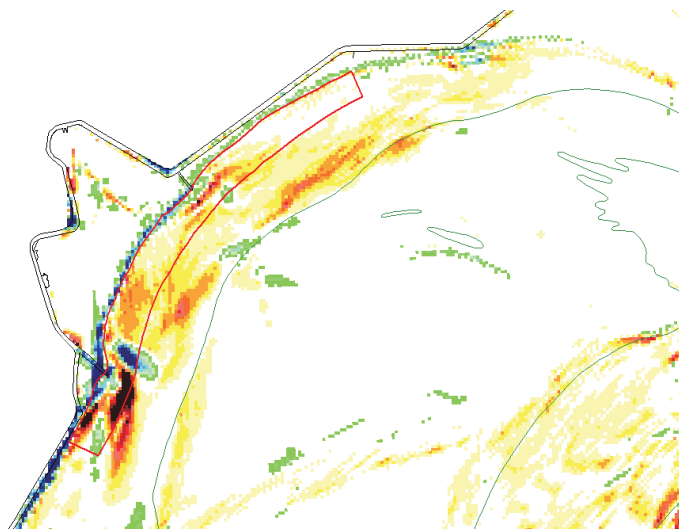


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 82

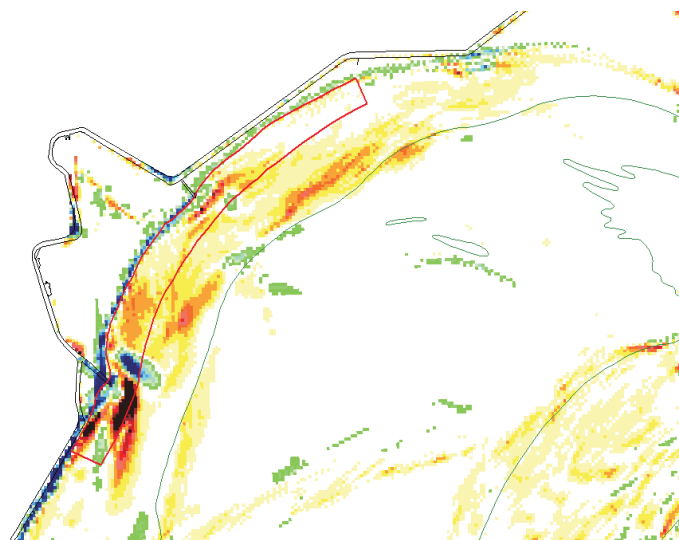
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Biezelingse Ham
Erosie-sedimentatiepatroon 2003-2004

— -11.0 m NAP

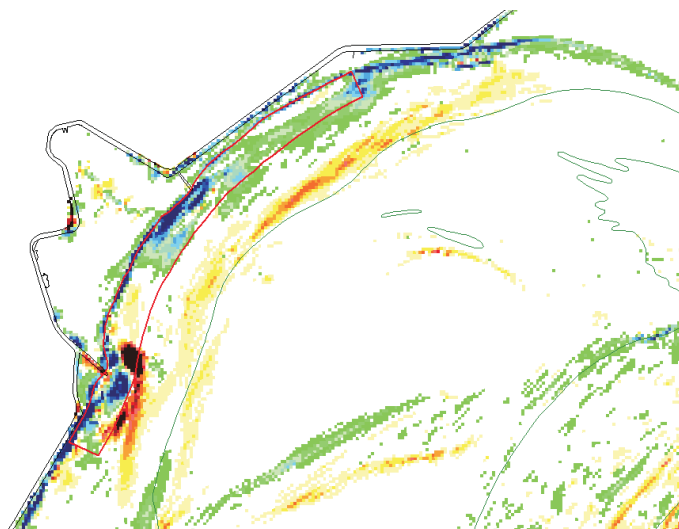


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 83

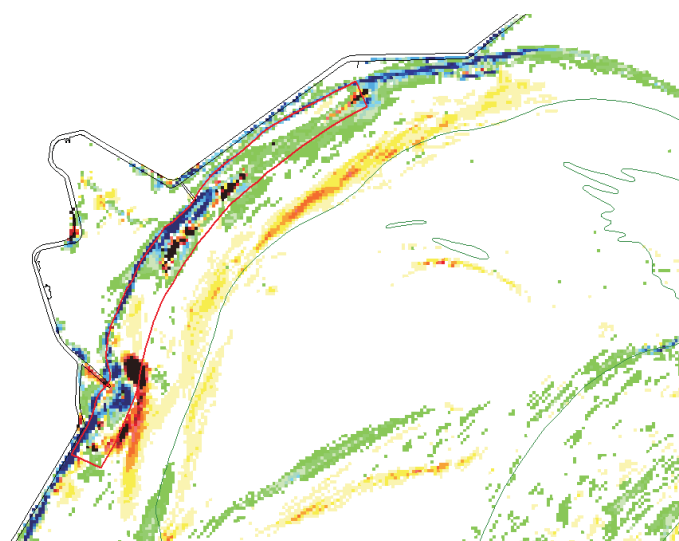
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Biezelingse Ham
Erosie-sedimentatiepatroon 2004-2005

— -11.0 m NAP

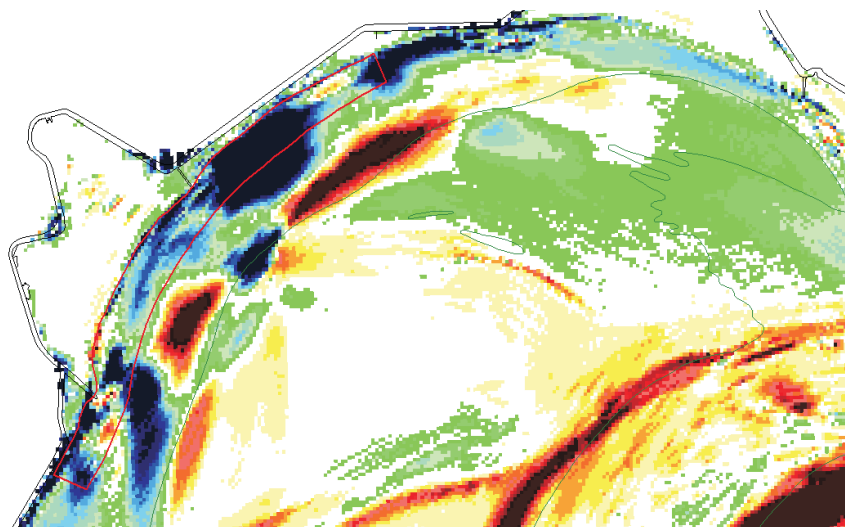


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

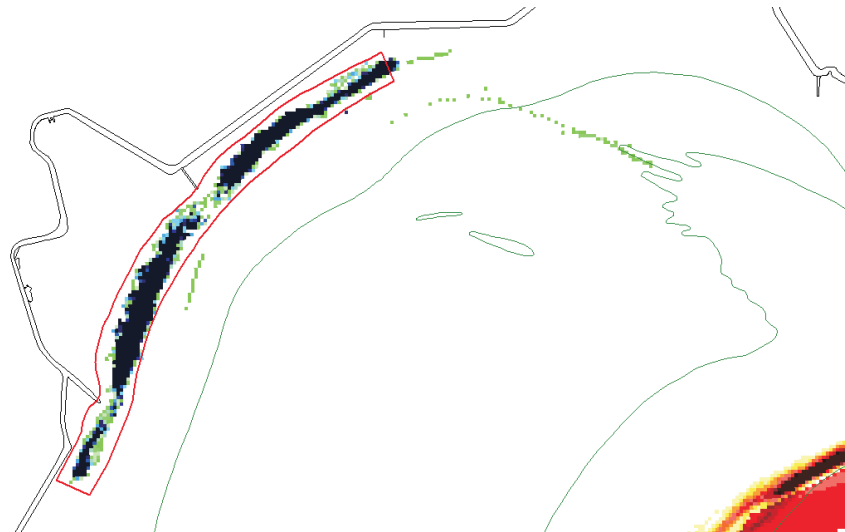
M 791/02

Figuur 84

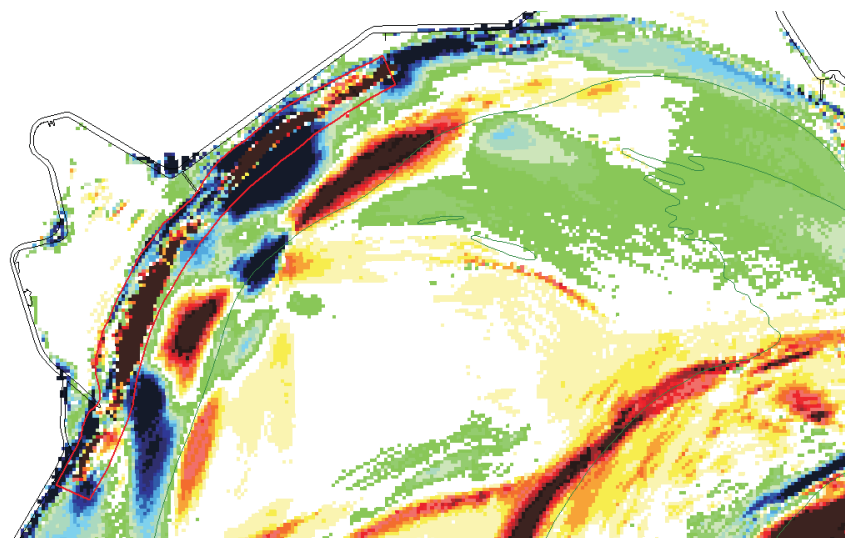
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Biezelingse Ham
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2005

— -11.0 m NAP

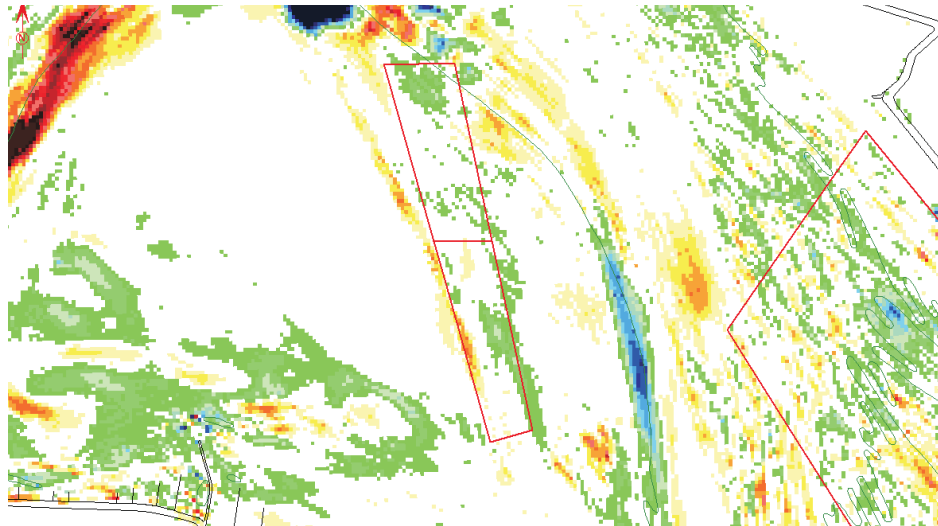


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

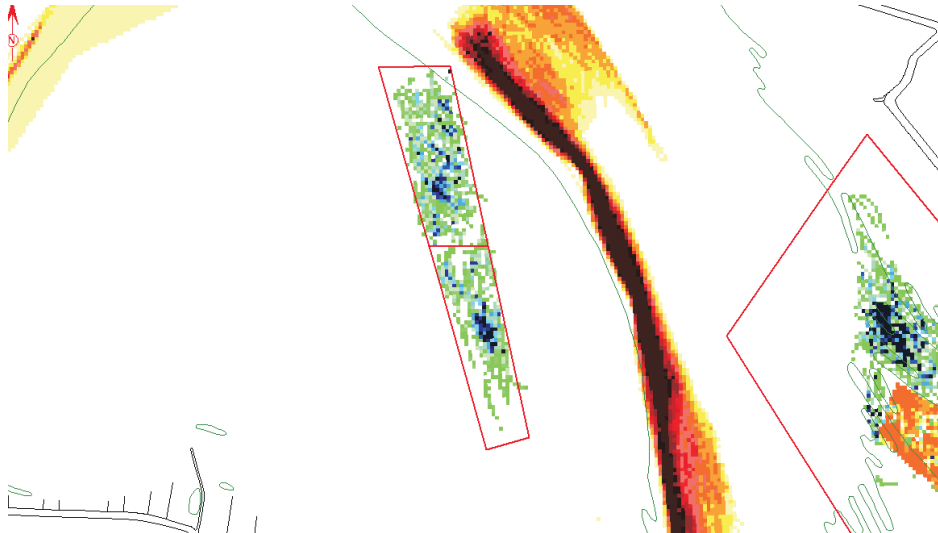
M 791/02

Figuur 85

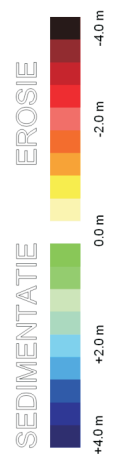
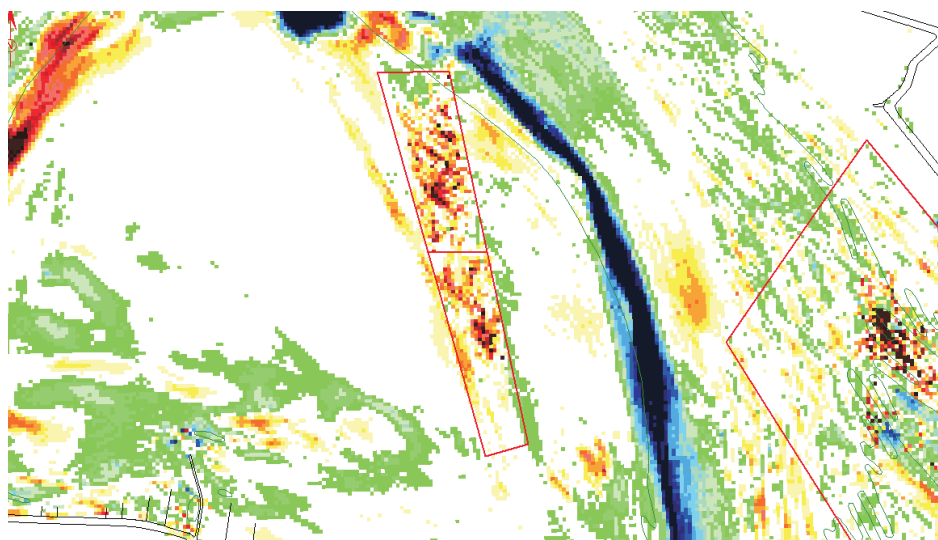
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Platen van Ossenis
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2001

— -11.0 m NAP

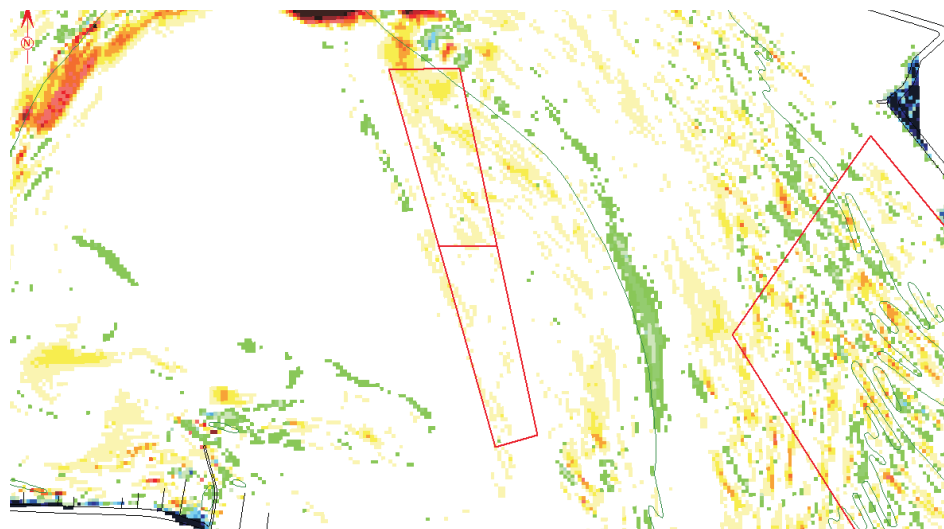


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 86

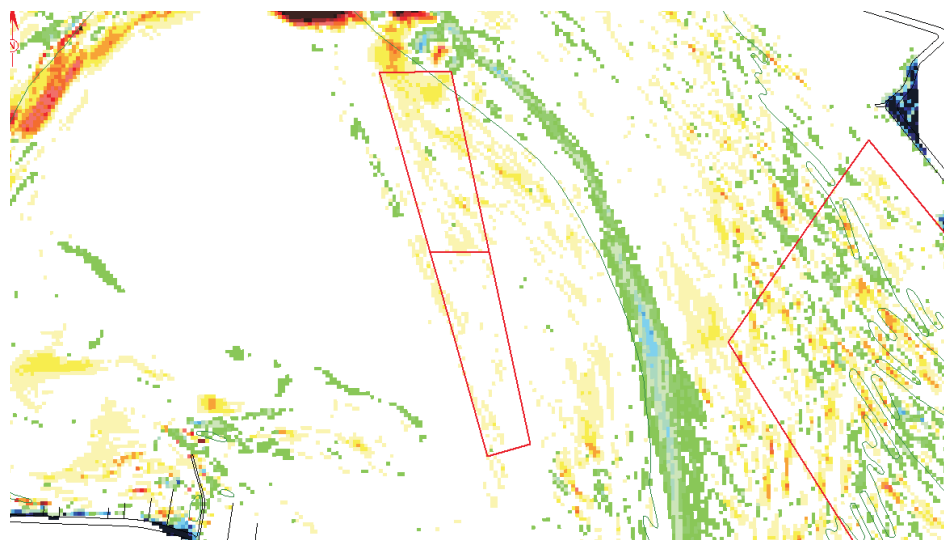
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Platen van Ossenis
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2002

— -11.0 m NAP

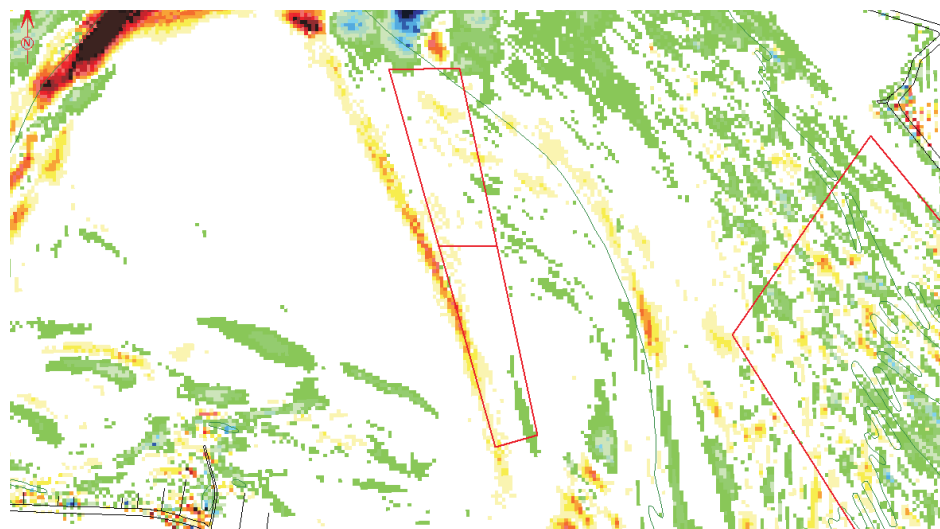


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 87

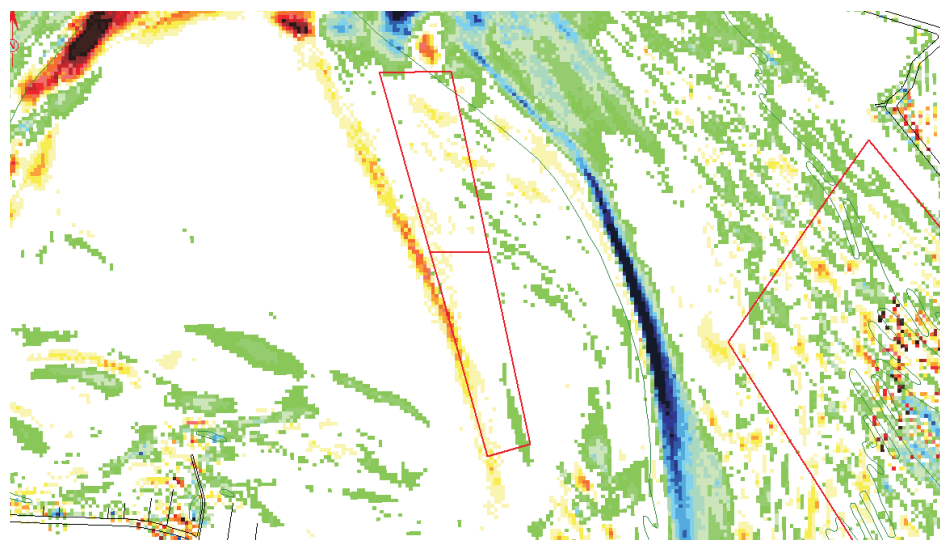
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Platen van Ossensisse
Erosie-sedimentatiepatroon 2002-2003

— -11.0 m NAP

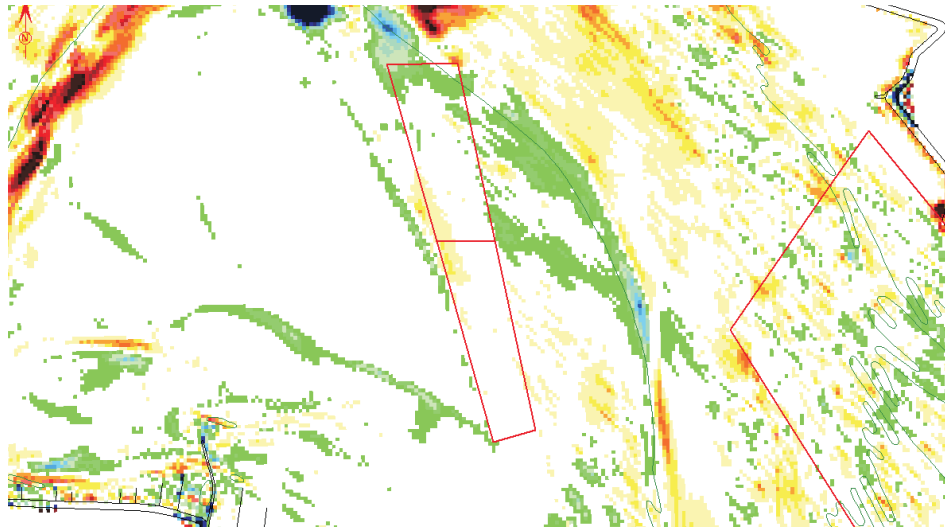


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

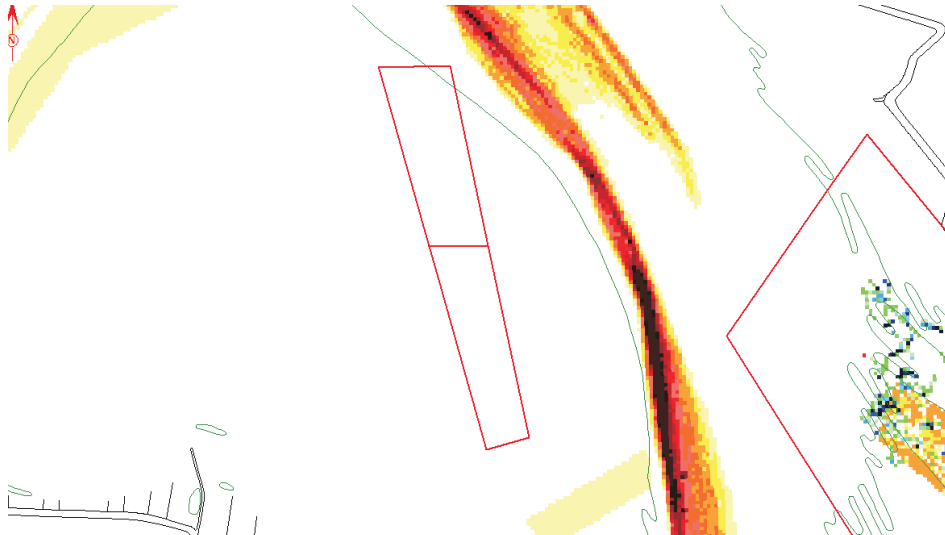
M 791/02

Figuur 88

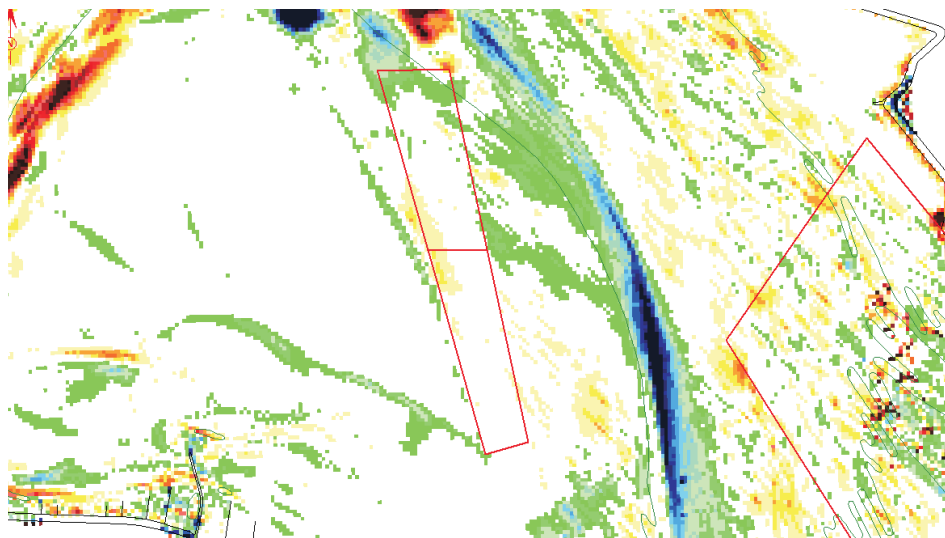
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Platen van Ossenis
Erosie-sedimentatiepatroon 2003-2004

— -11.0 m NAP

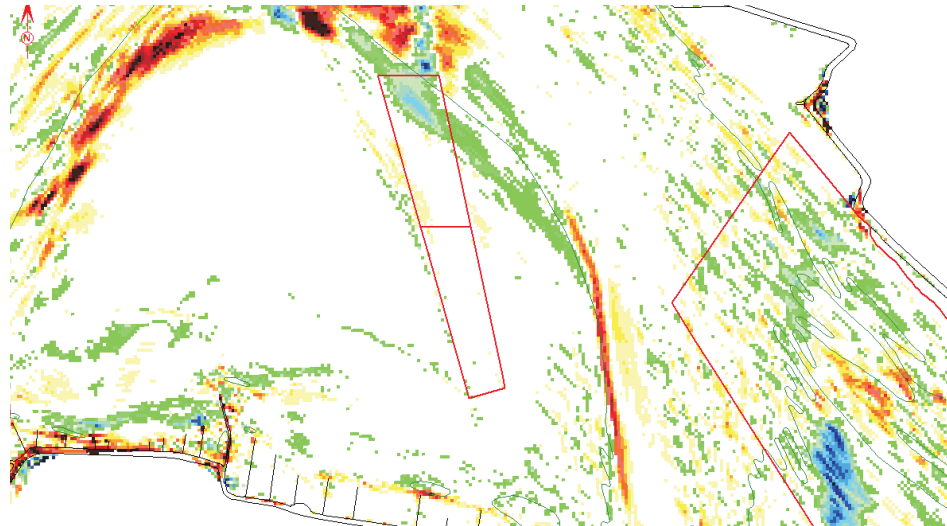


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

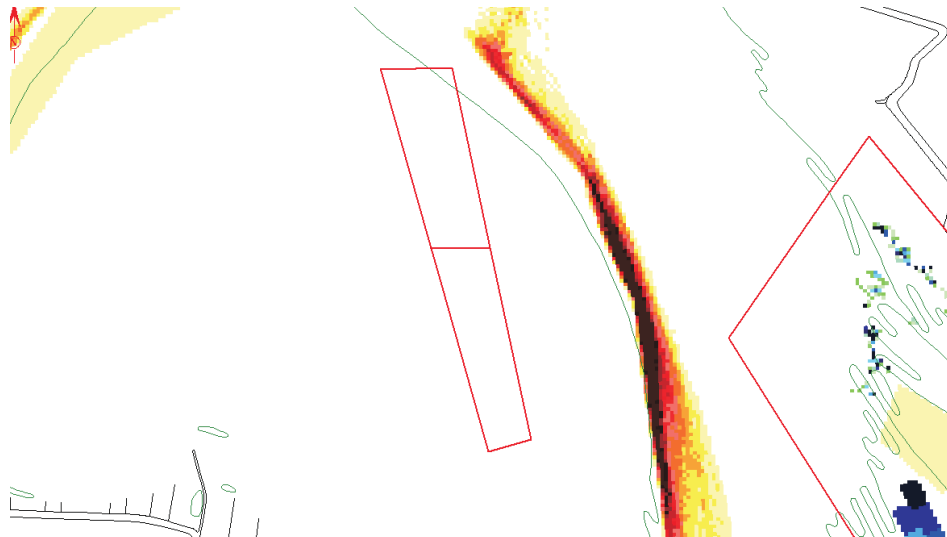
M 791/02

Figuur 89

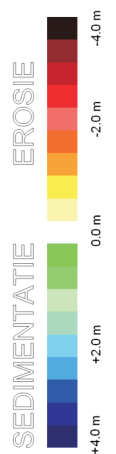
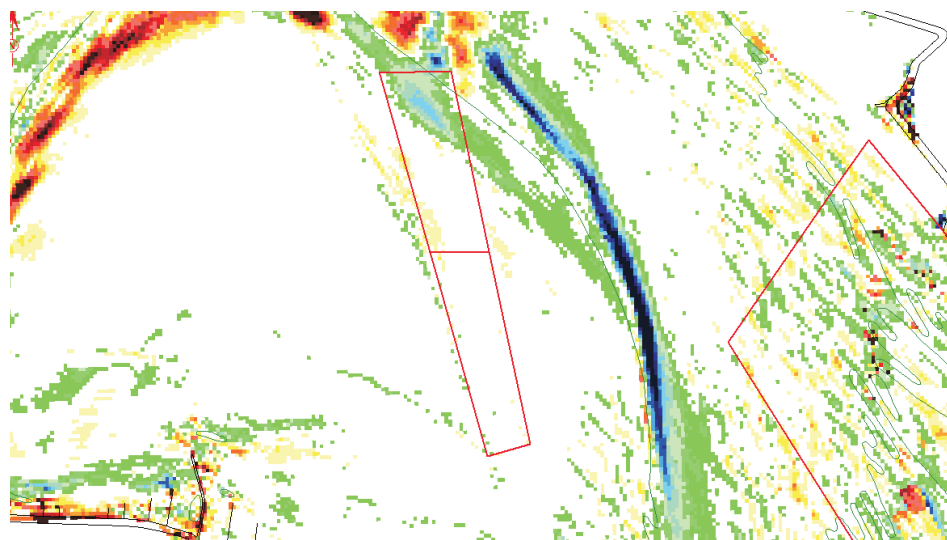
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Platen van Ossensisse
Erosie-sedimentatiepatroon 2004-2005

— -11.0 m NAP

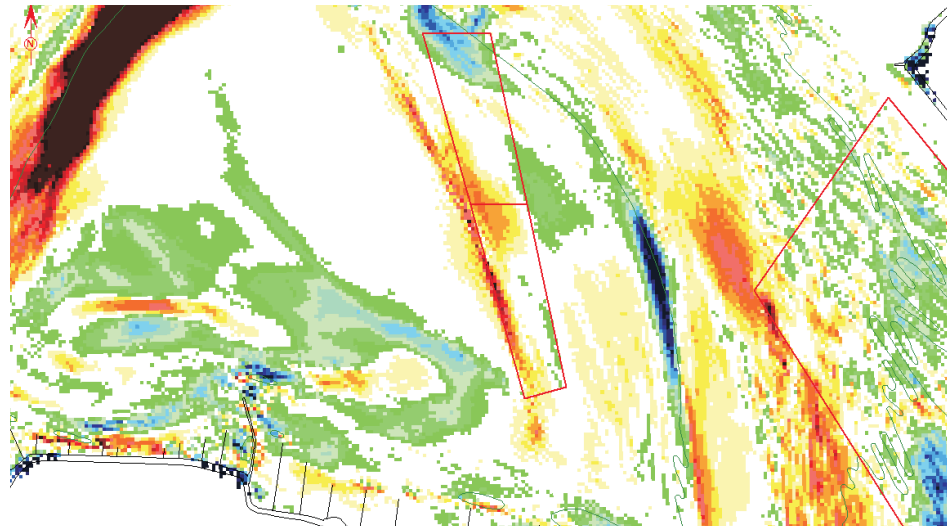


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

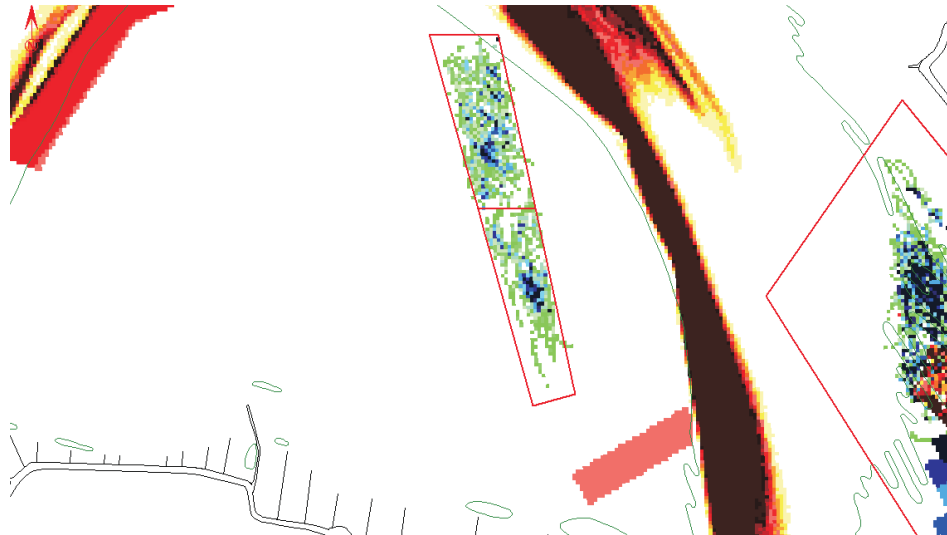
M 791/02

Figuur 90

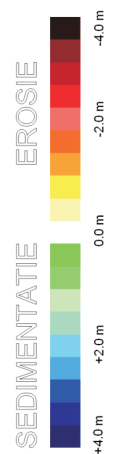
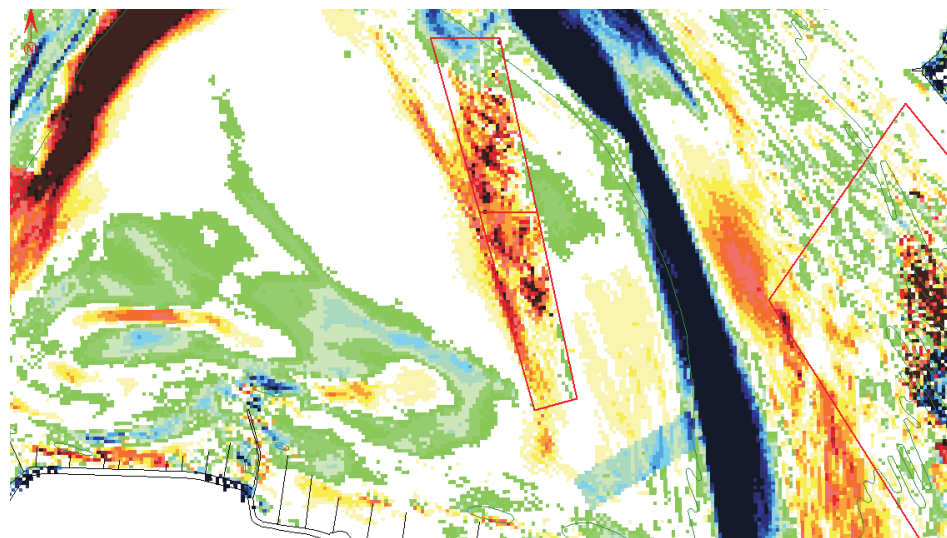
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Platen van Ossenis
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2005

— -11.0 m NAP

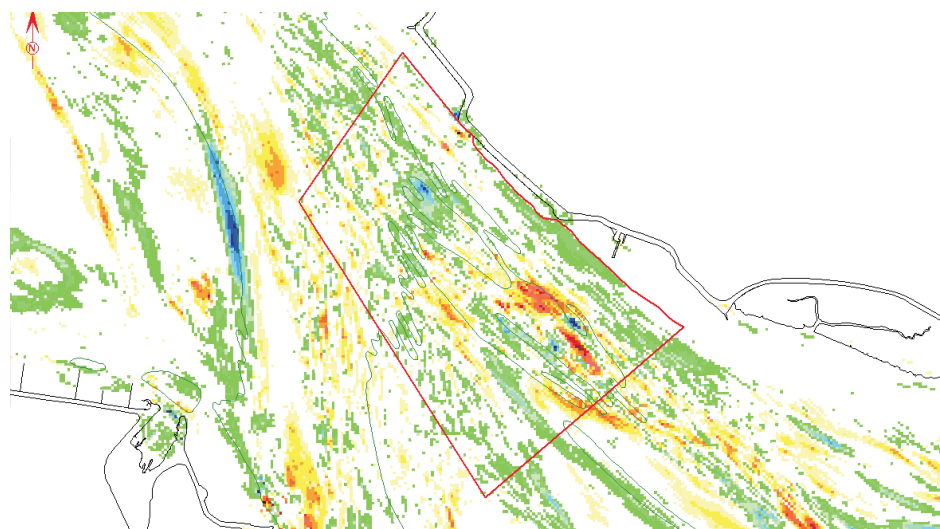


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

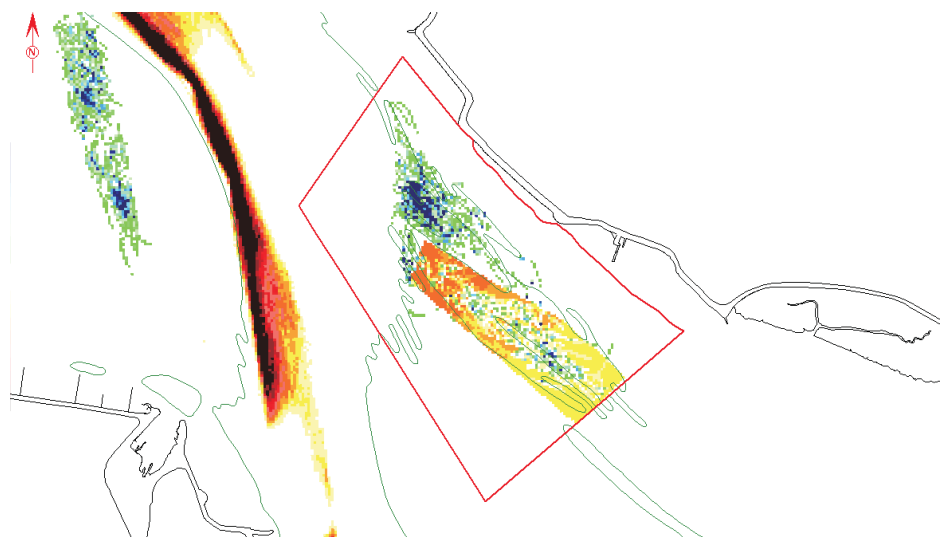
M 791/02

Figuur 91

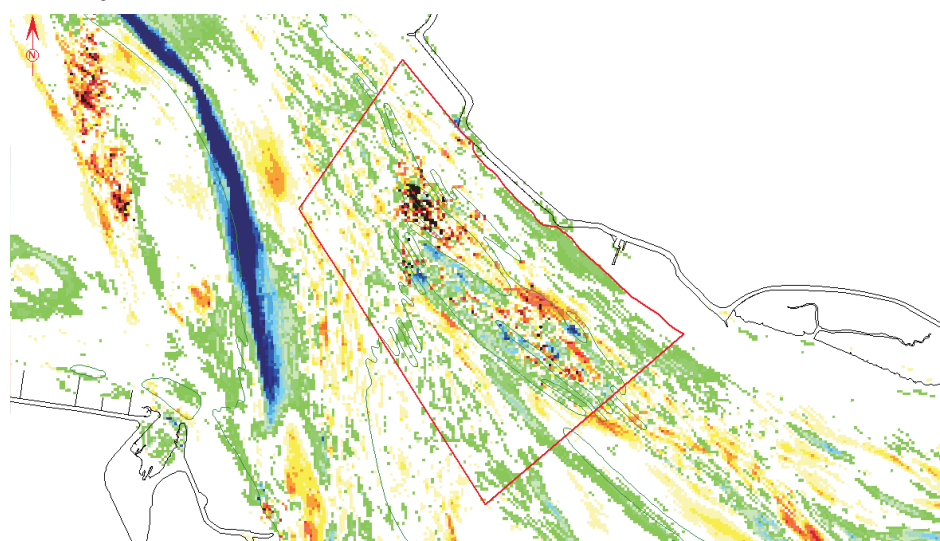
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van Waarde
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2001

— -11.0 m NAP

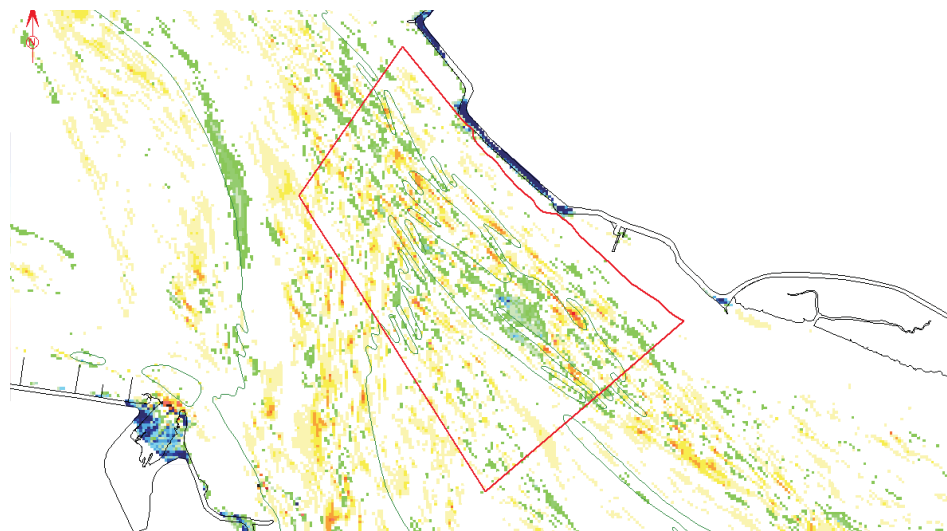


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 92

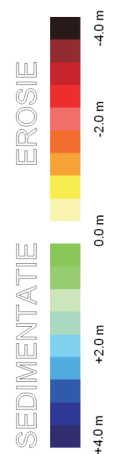
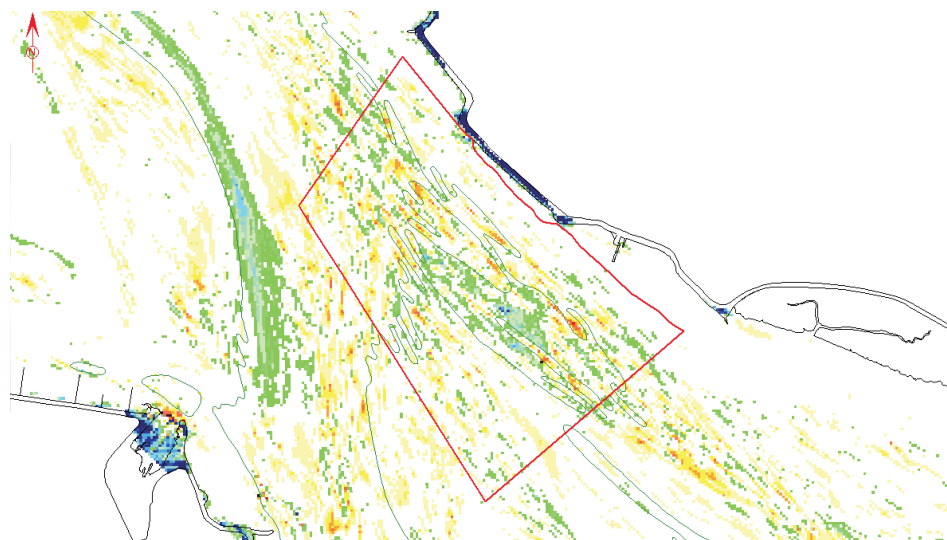
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van Waarde
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2002

— -11.0 m NAP

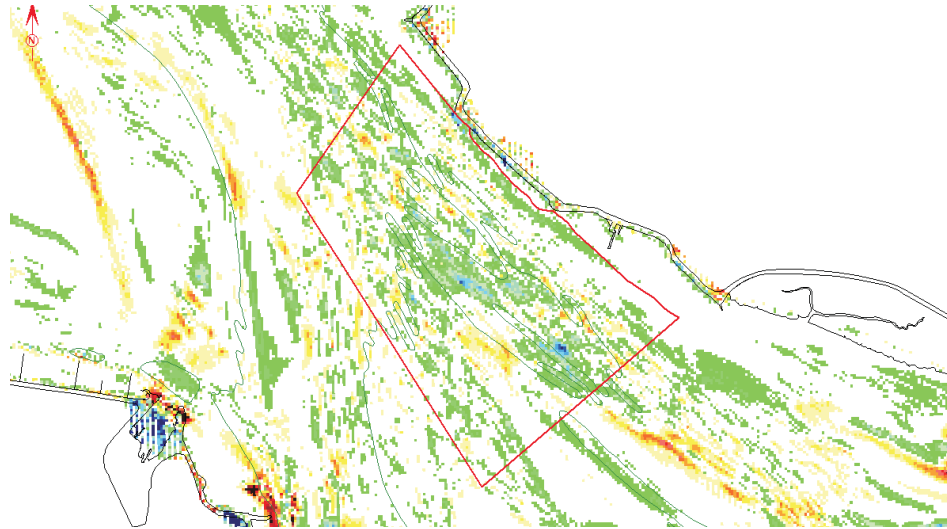


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

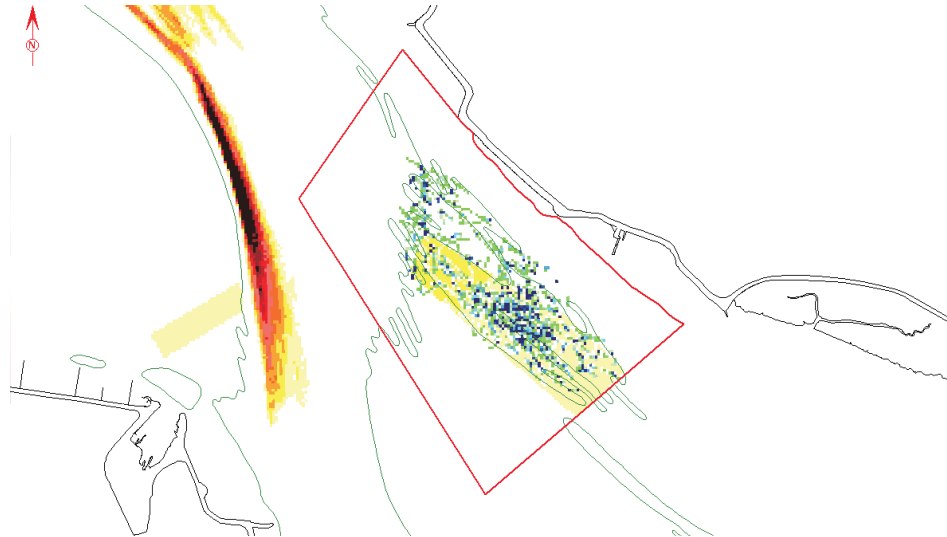
M 791/02

Figuur 93

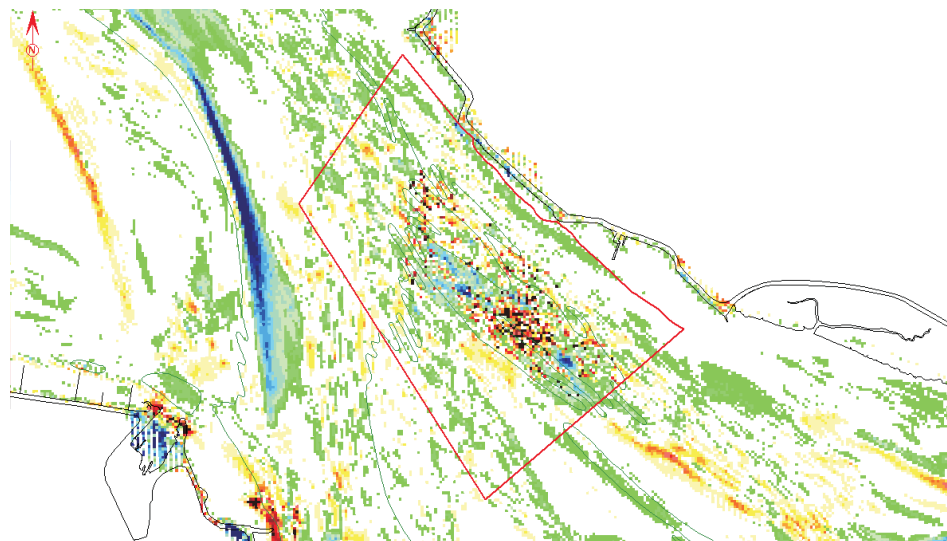
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van Waarde
Erosie-sedimentatiepatroon 2002-2003

— -11.0 m NAP

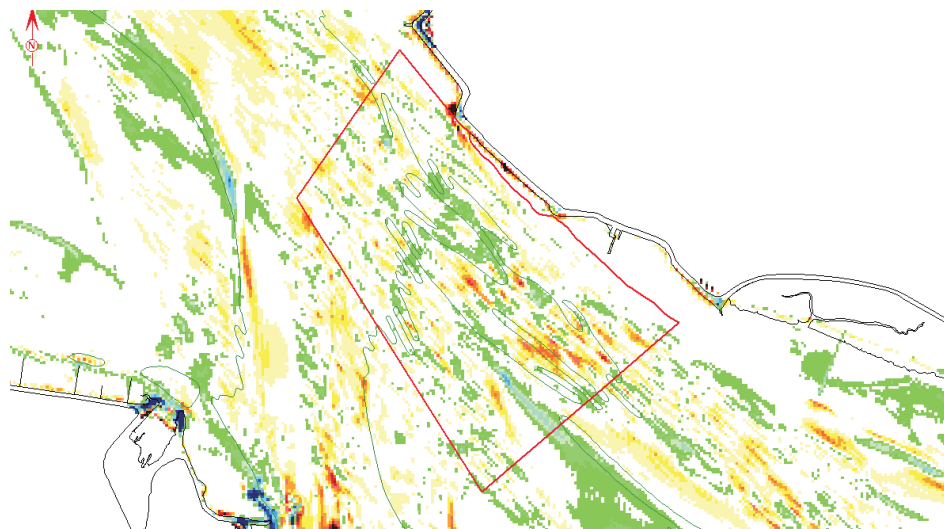


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

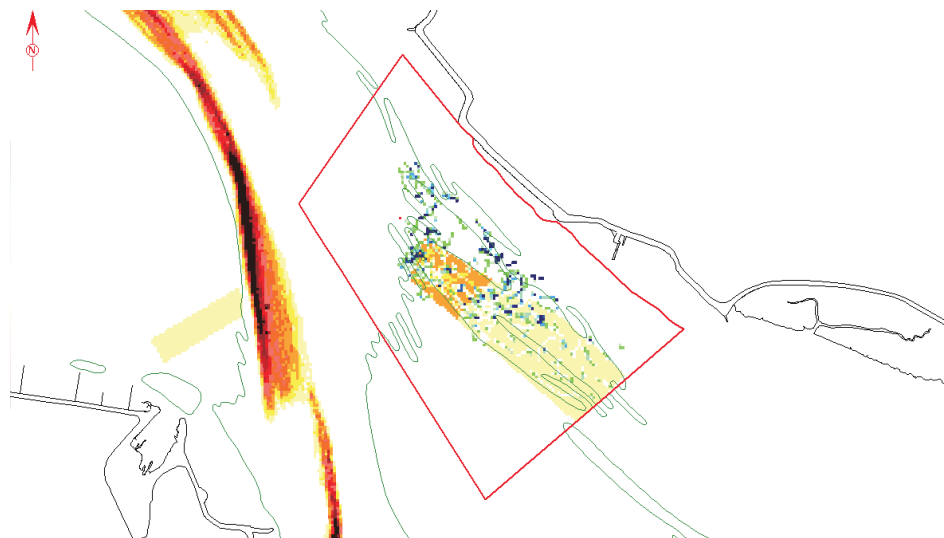
M 791/02

Figuur 94

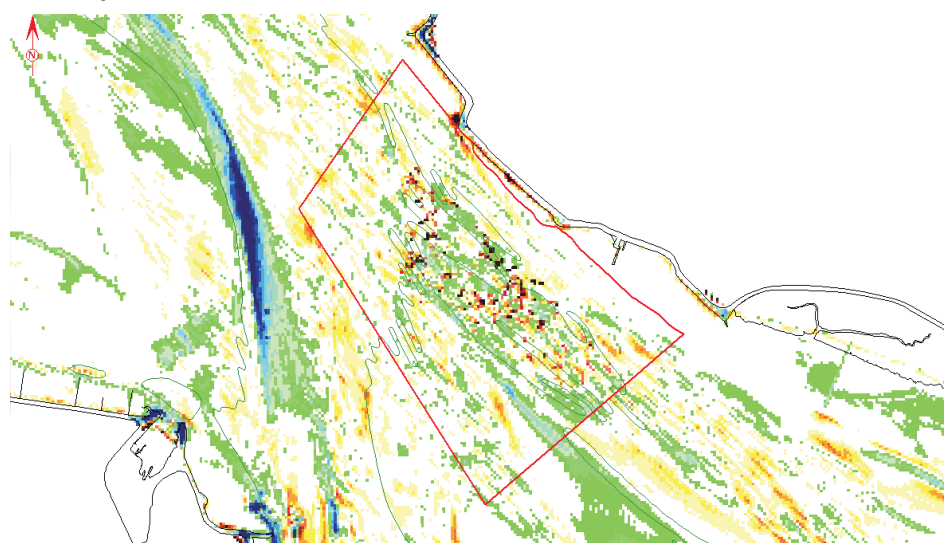
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van Waarde
Erosie-sedimentatiepatroon 2003-2004

— -11.0 m NAP

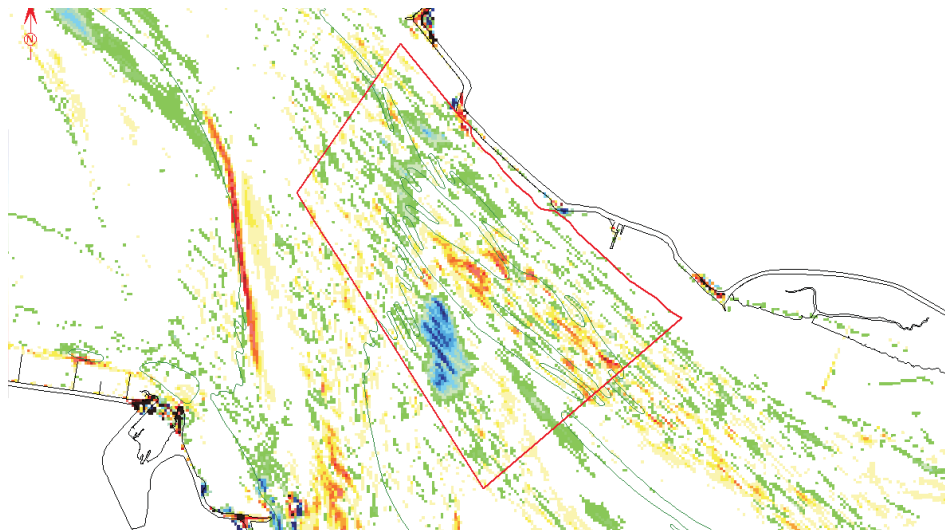


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

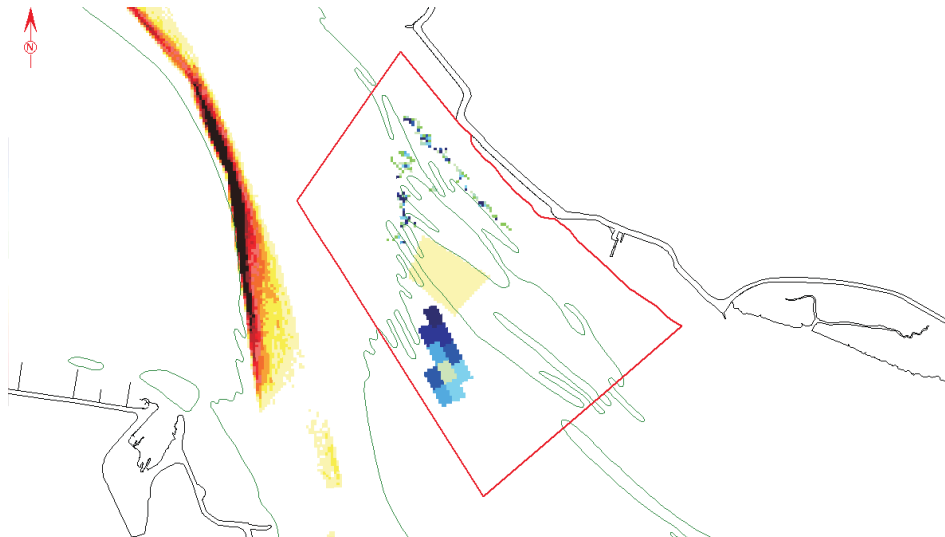
M 791/02

Figuur 95

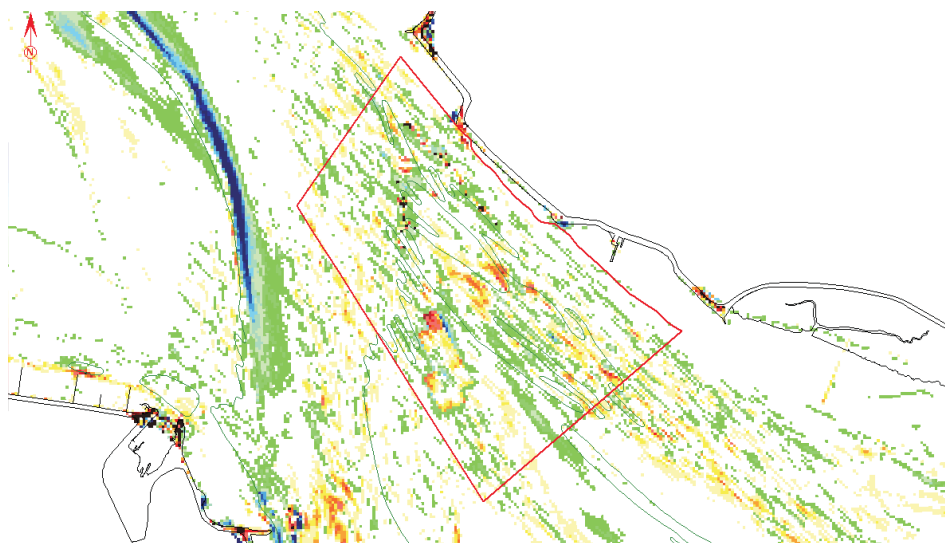
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van Waarde
Erosie-sedimentatiepatroon 2004-2005

— -11.0 m NAP

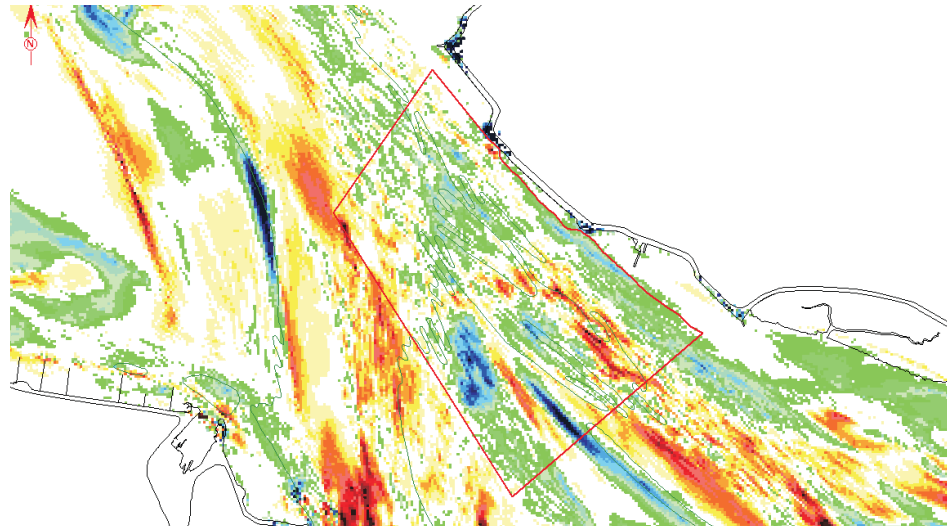


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

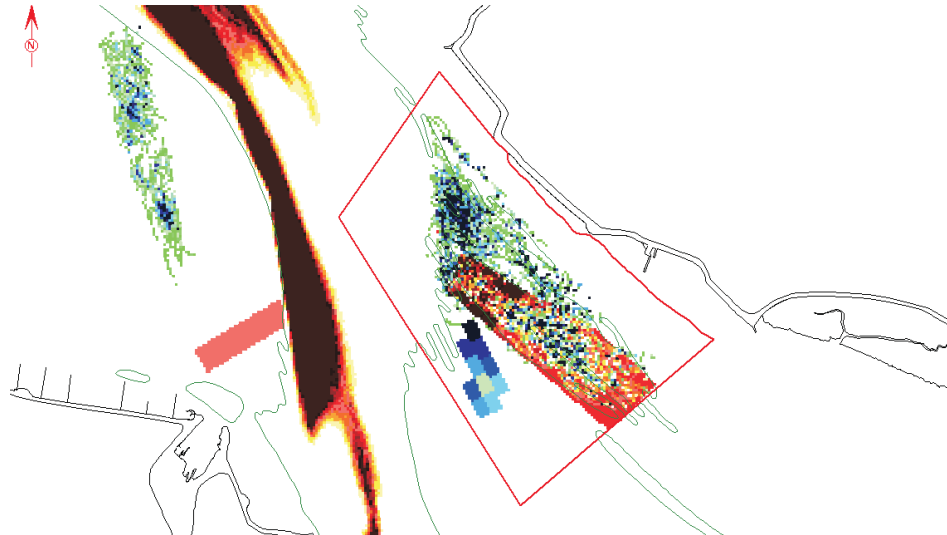
M 791/02

Figuur 96

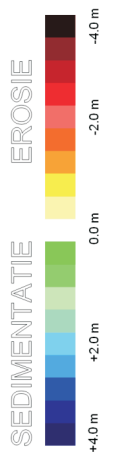
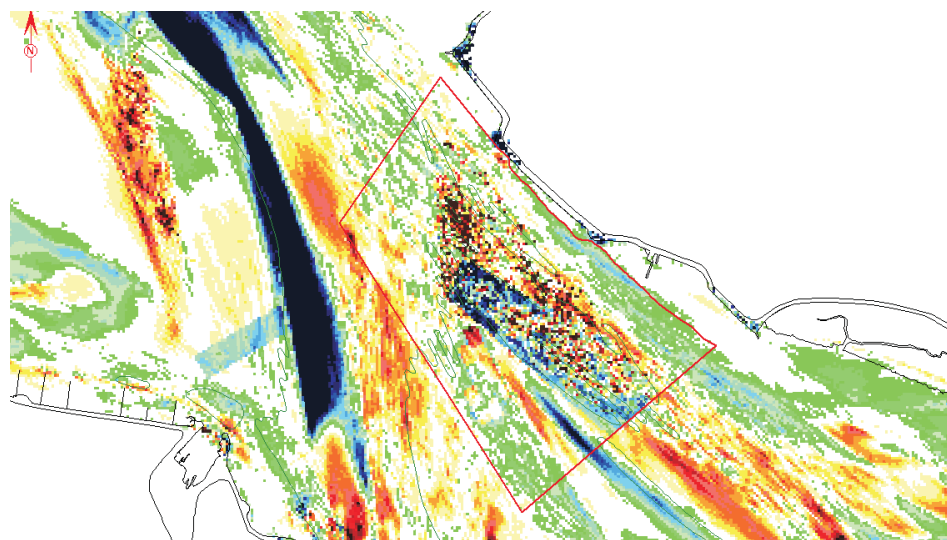
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van Waarde
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2005

— -11.0 m NAP

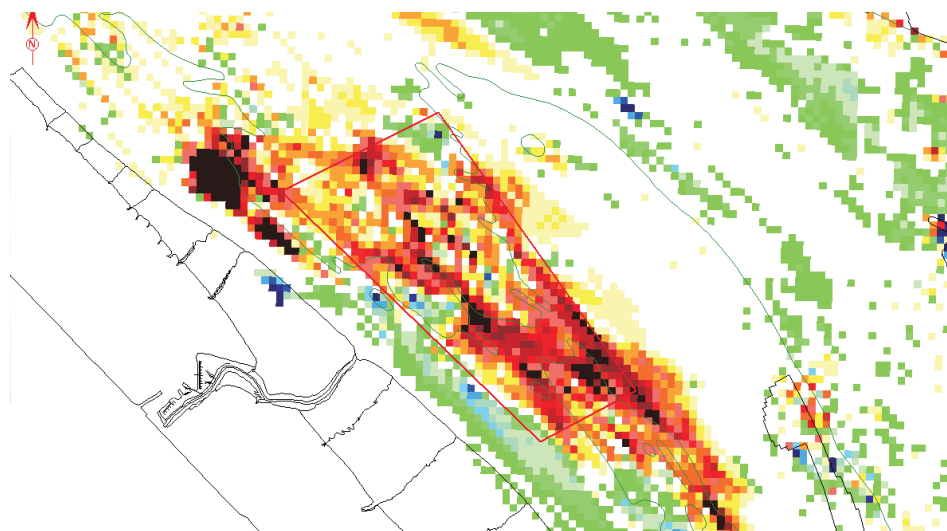


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

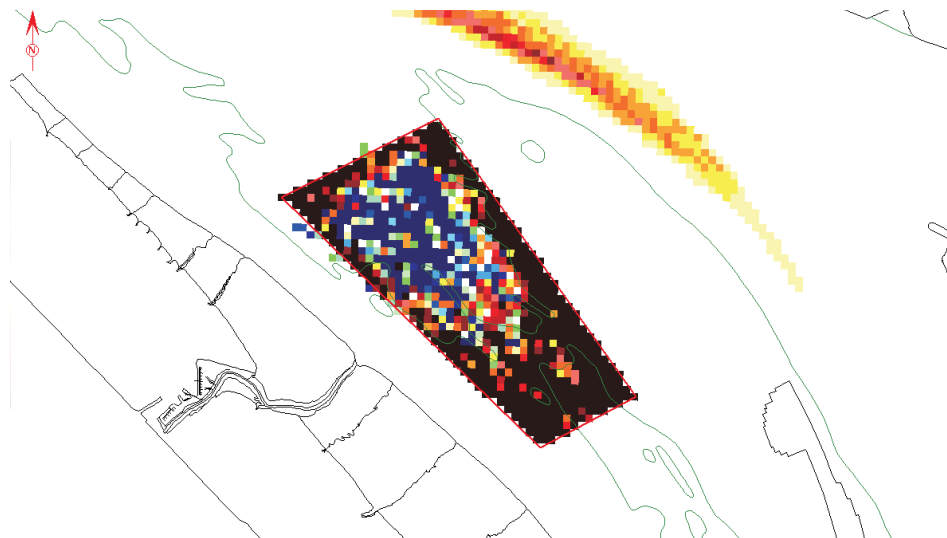
M 791/02

Figuur 97

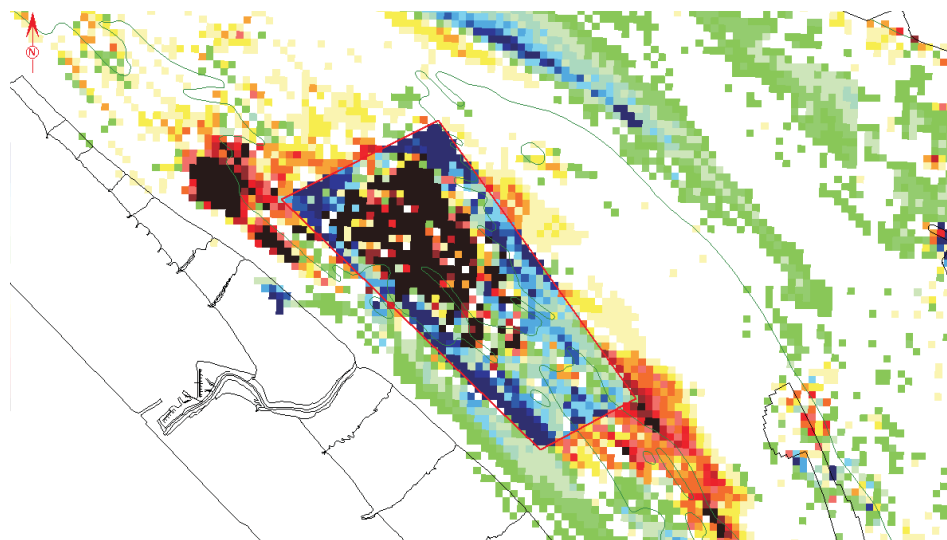
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van Ouden Doel
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2002

— -11.0 m NAP

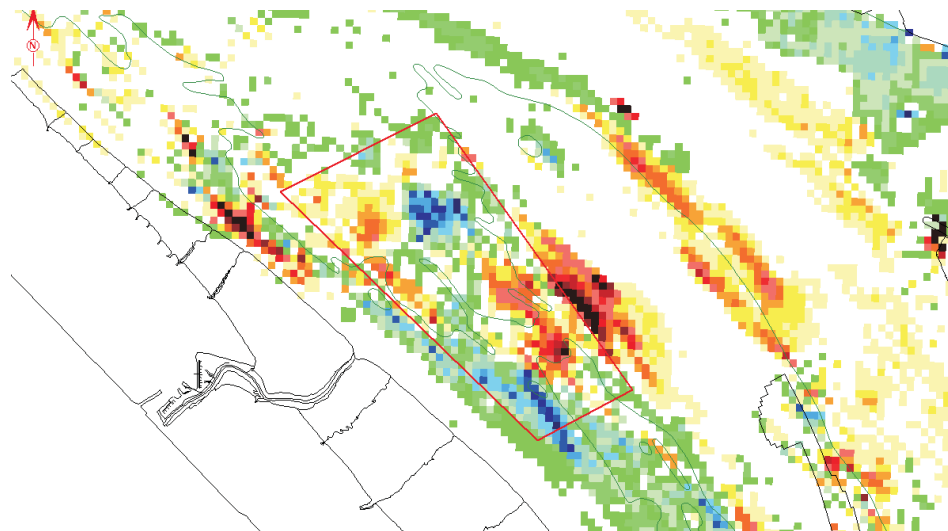


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

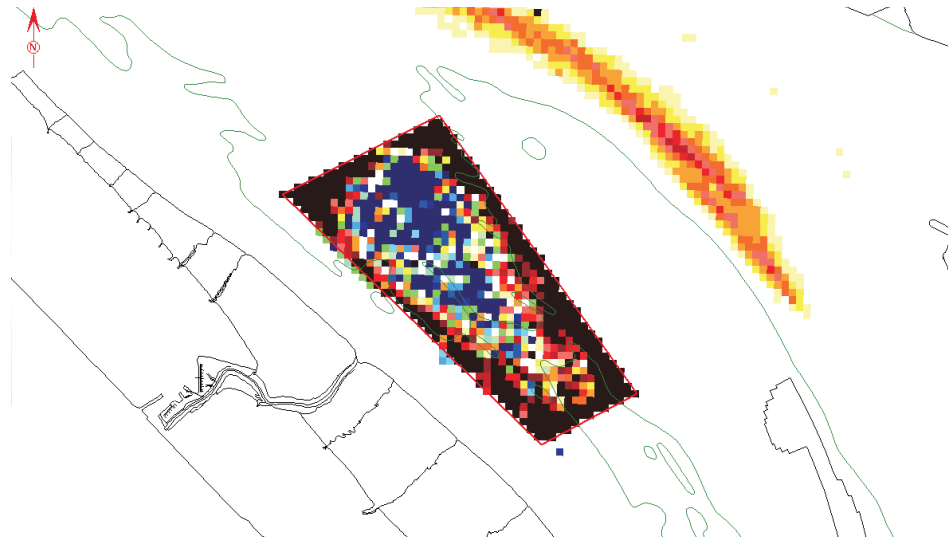
M 791/02

Figuur 98

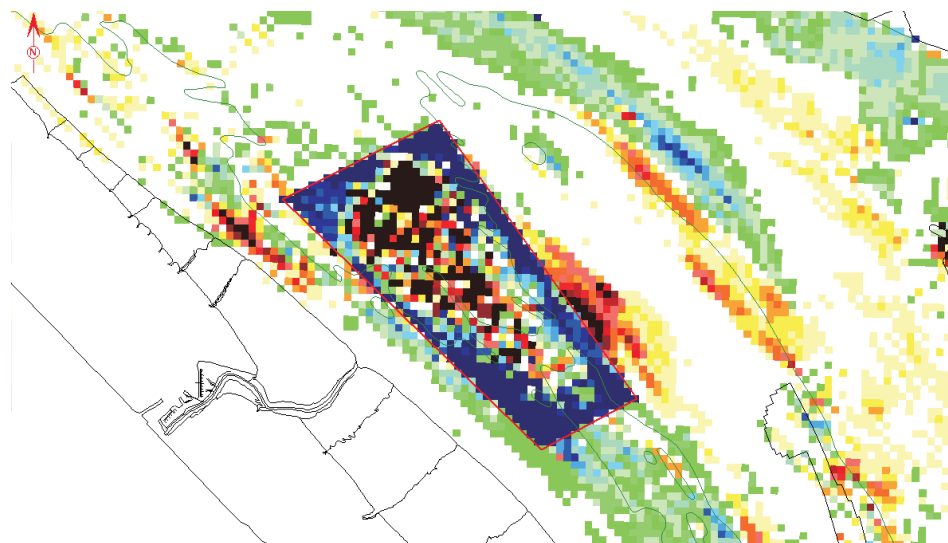
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van Ouden Doel
Erosie-sedimentatiepatroon 2002-2004

— -11.0 m NAP

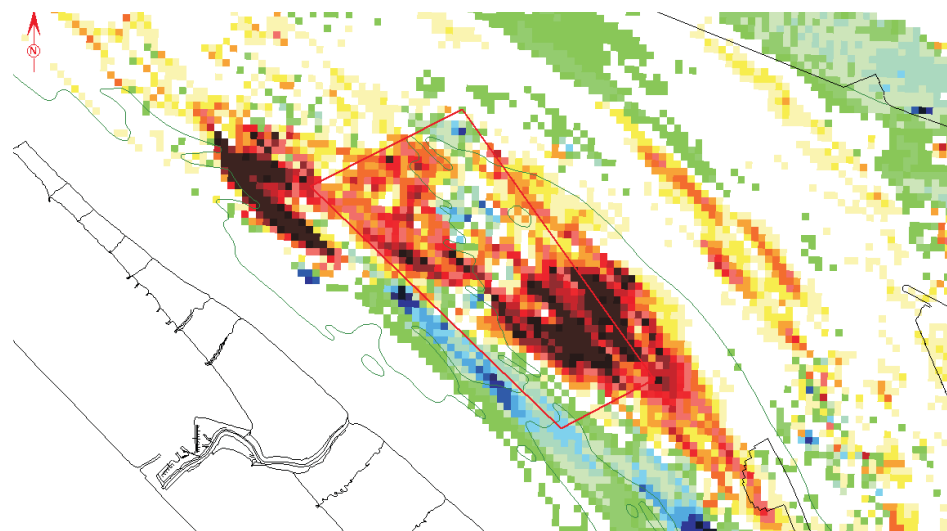


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

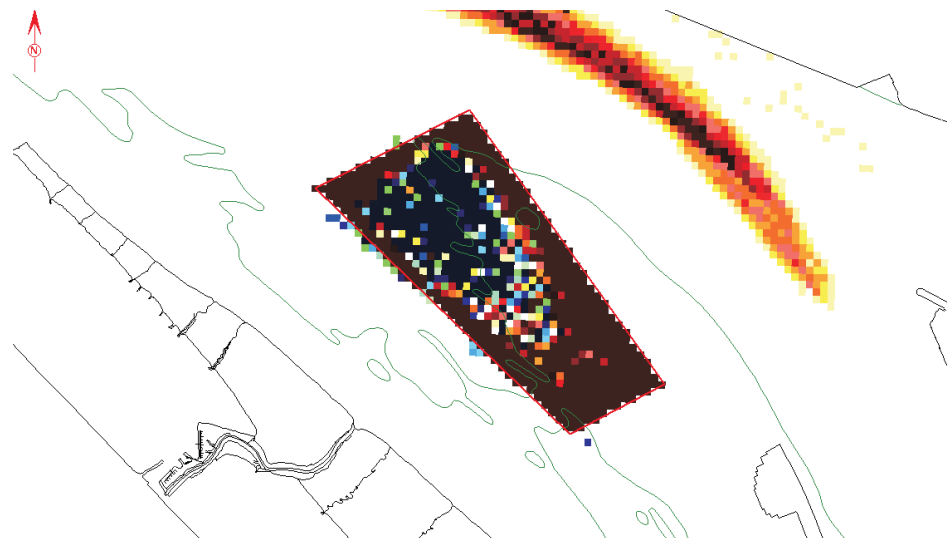
M 791/02

Figuur 99

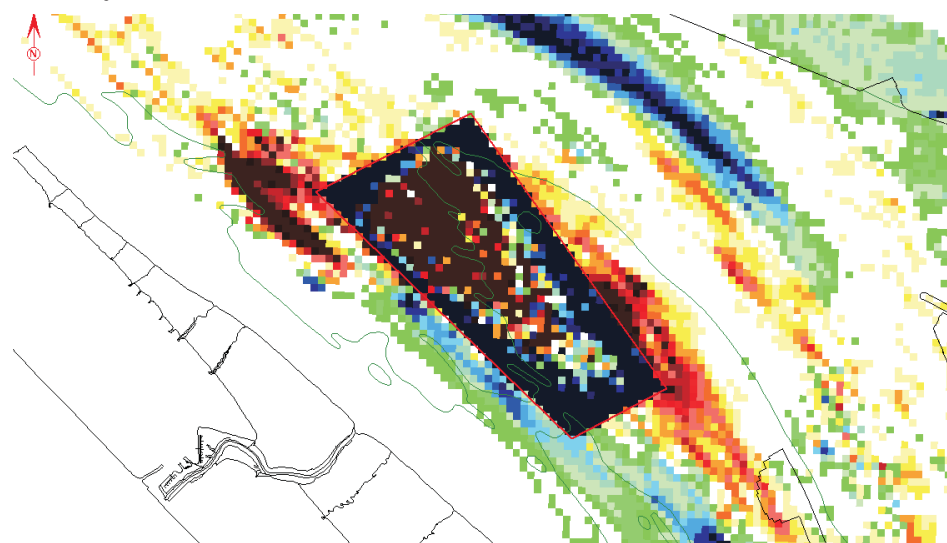
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Schaar van Ouden Doel
Erosie-sedimentatiepatroon 2000-2004

— -11.0 m NAP

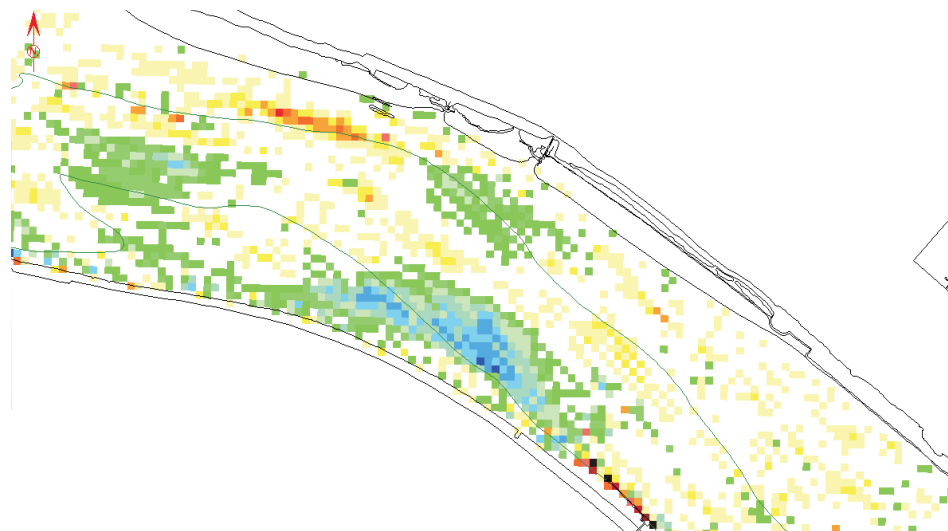


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

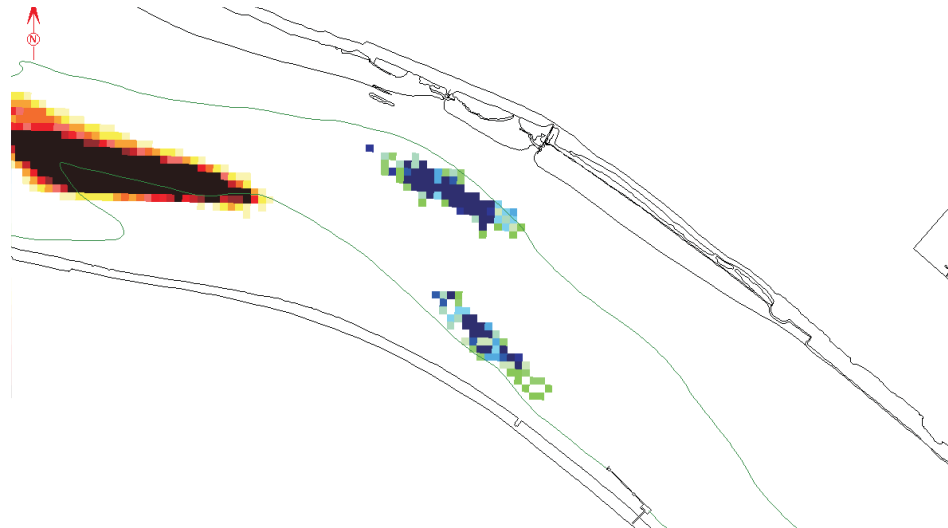
M 791/02

Figuur 100

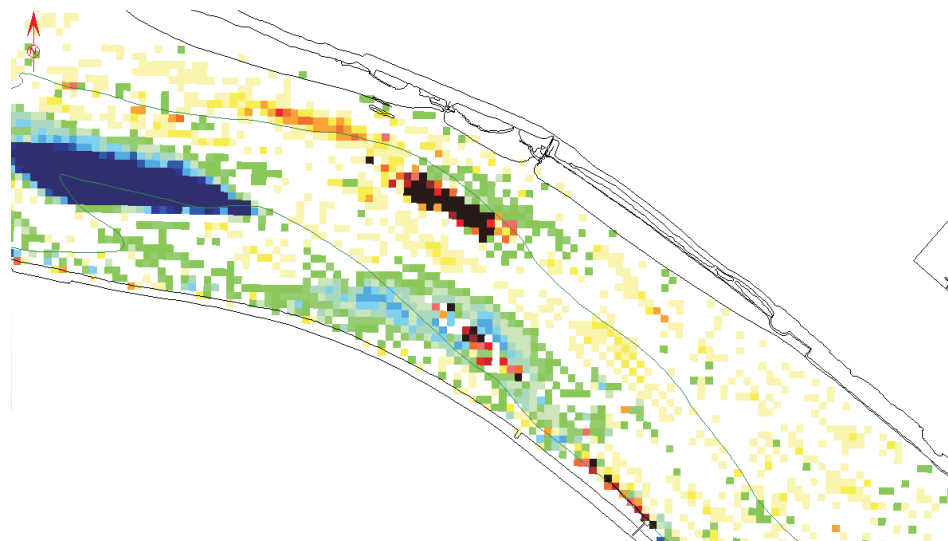
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie punt van Melsele
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2003

— -11.0 m NAP

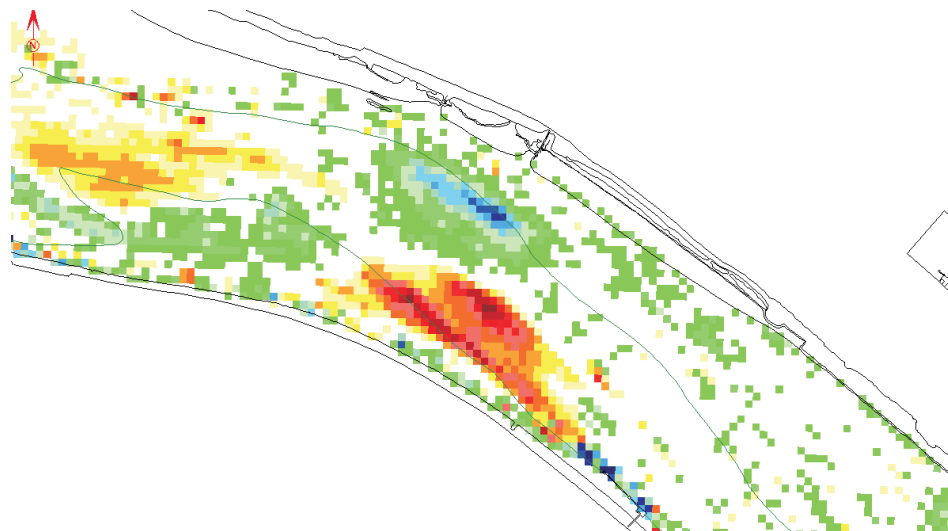


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

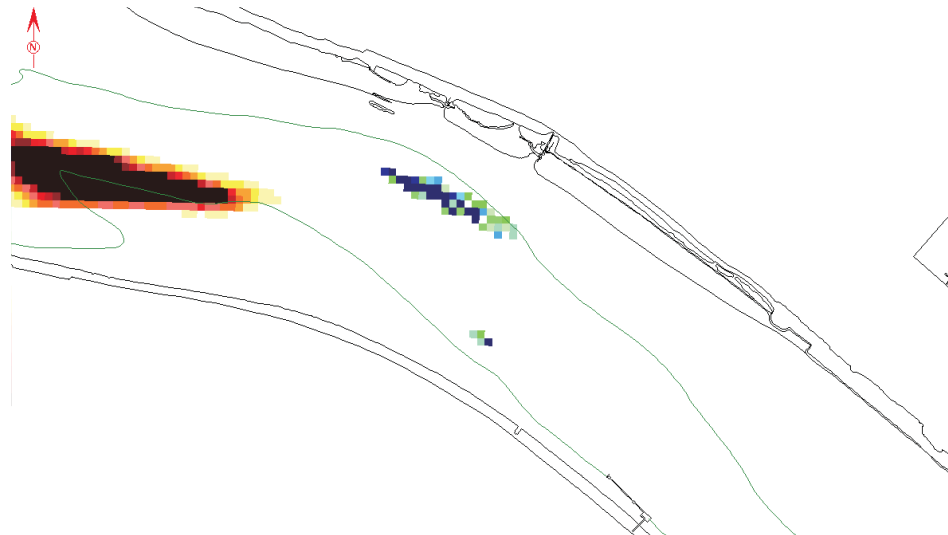
M 791/02

Figuur 101

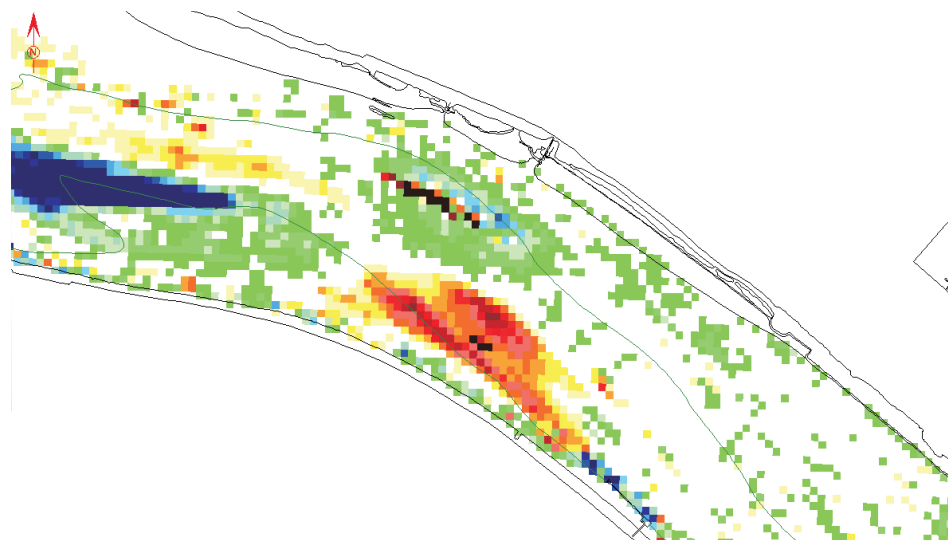
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie punt van Melsele
Erosie-sedimentatiepatroon 2003-2005

— -11.0 m NAP

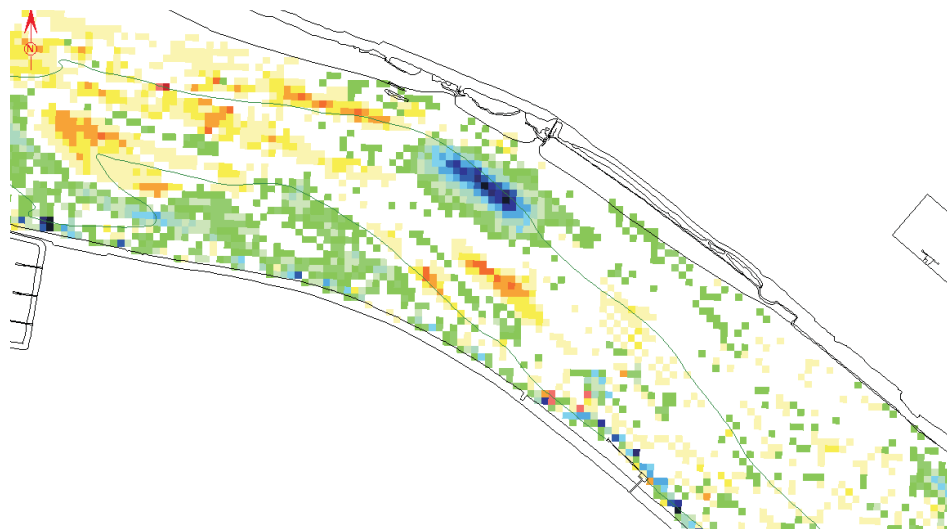


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

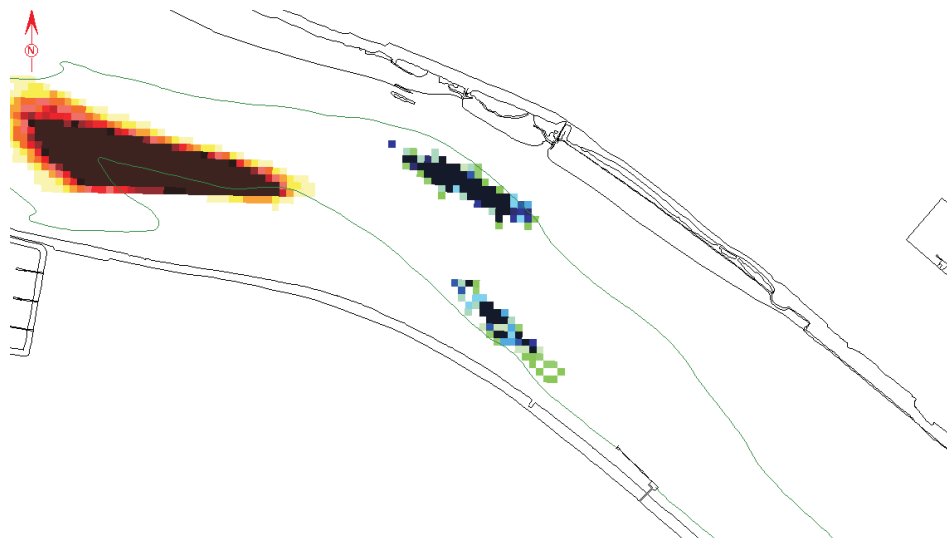
M 791/02

Figuur 102

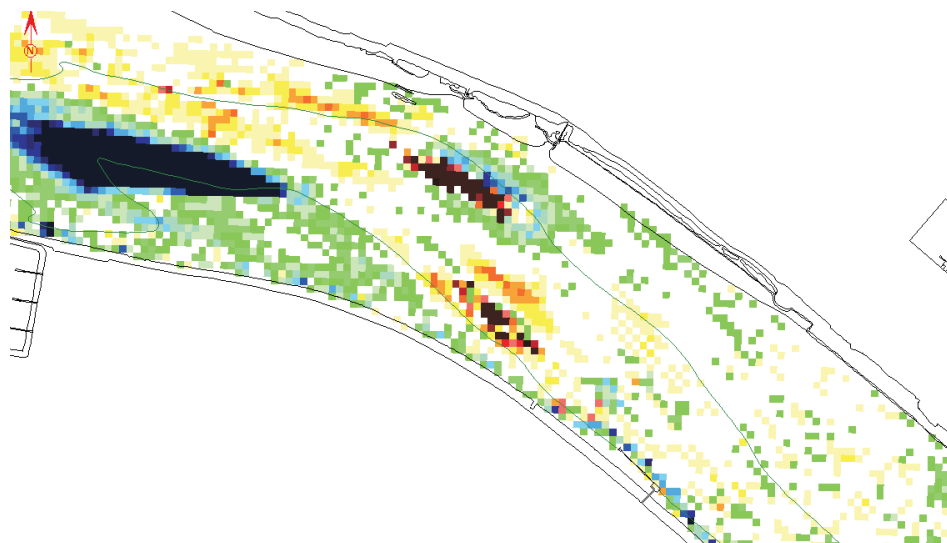
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie punt van Melsele
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2005

— -11.0 m NAP

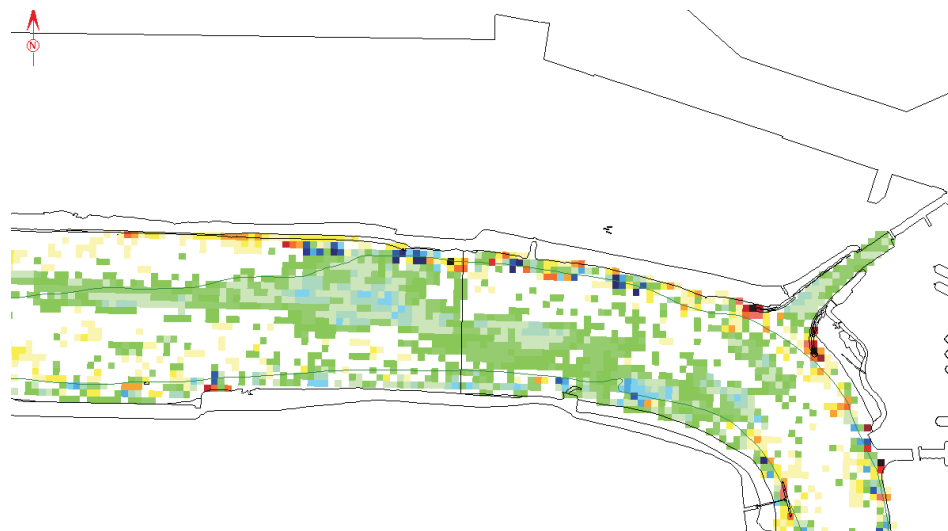


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

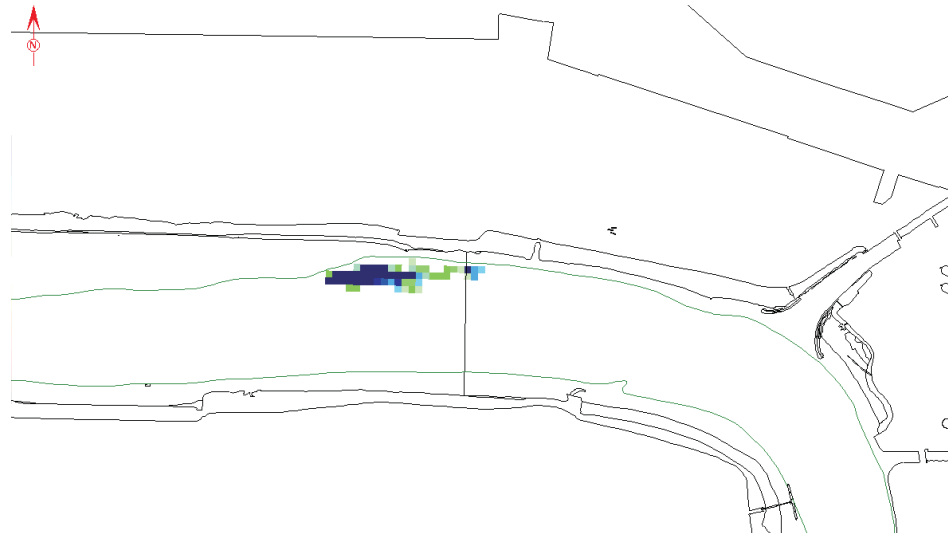
M 791/02

Figuur 103

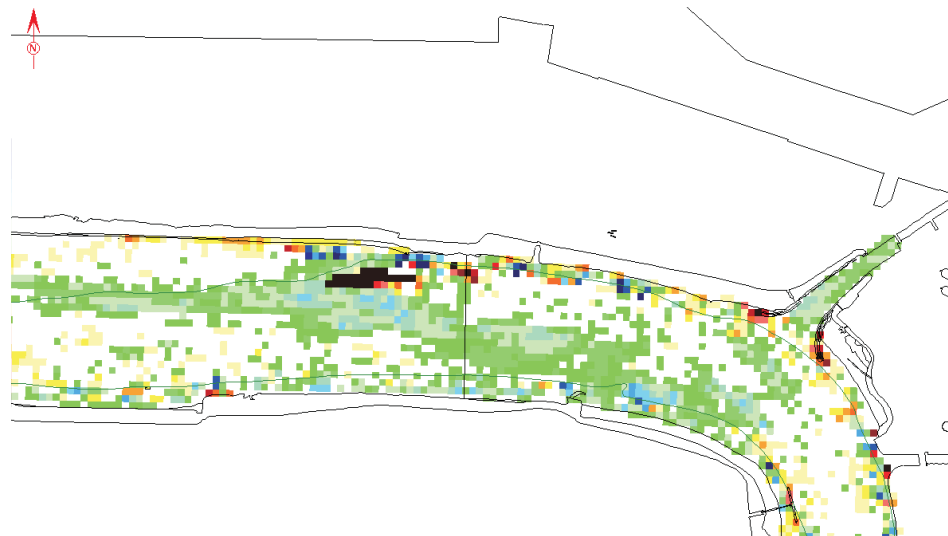
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Oosterweel
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2003

— -11.0 m NAP

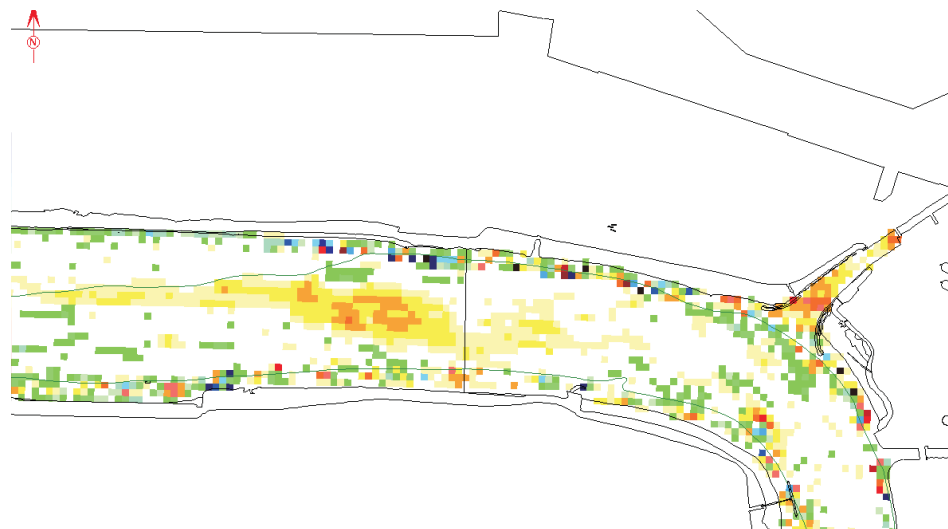


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

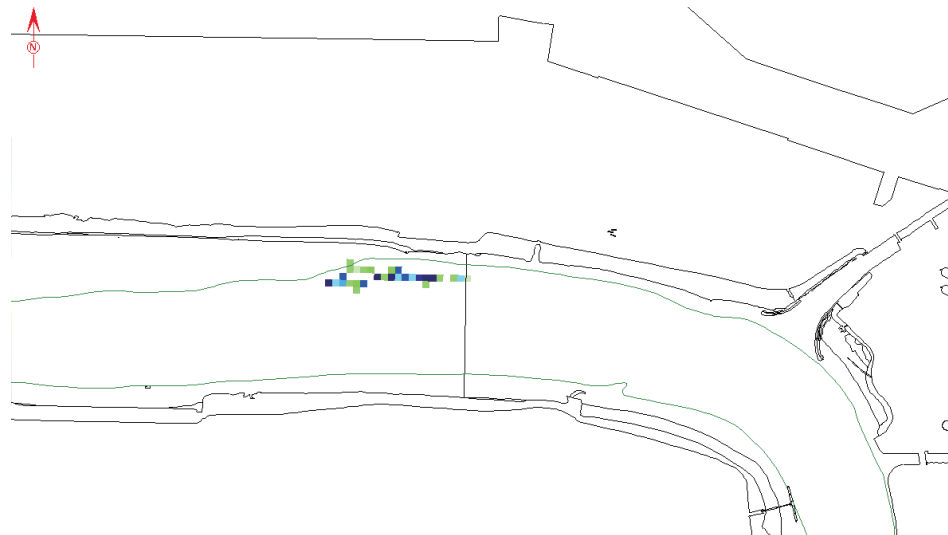
M 791/02

Figuur 104

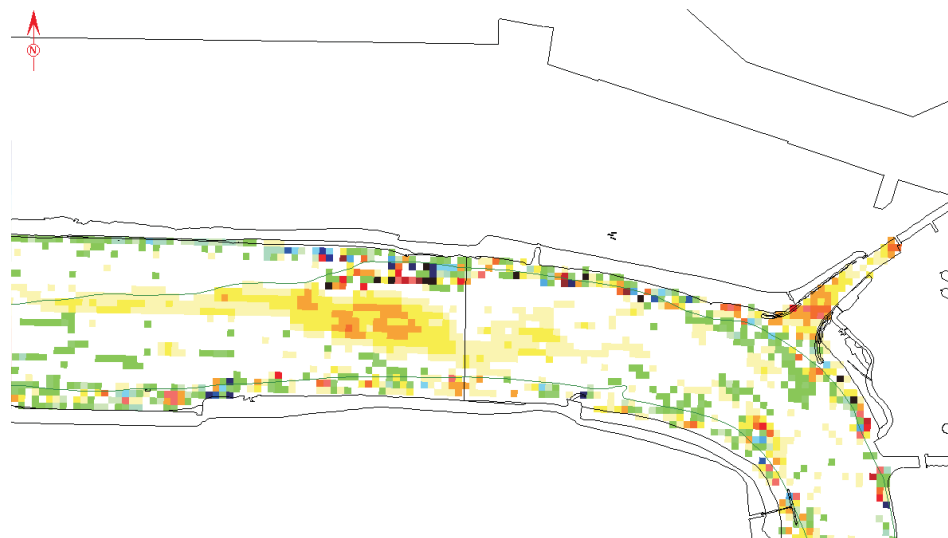
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Oosterweel
Erosie-sedimentatiepatroon 2003-2005

— -11.0 m NAP

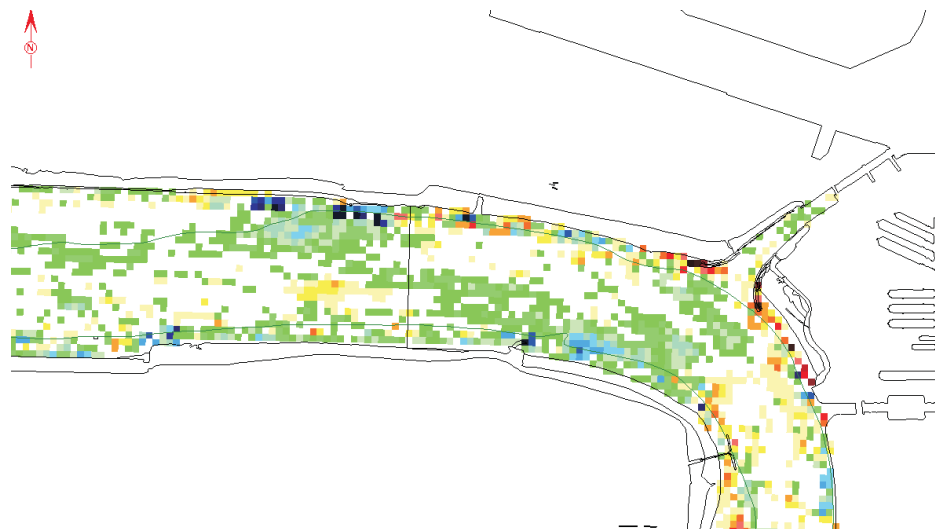


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

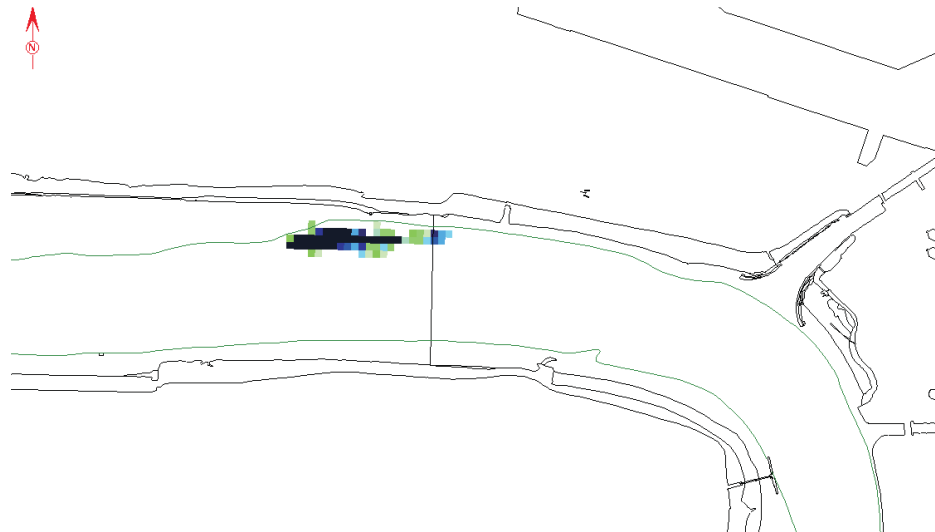
M 791/02

Figuur 105

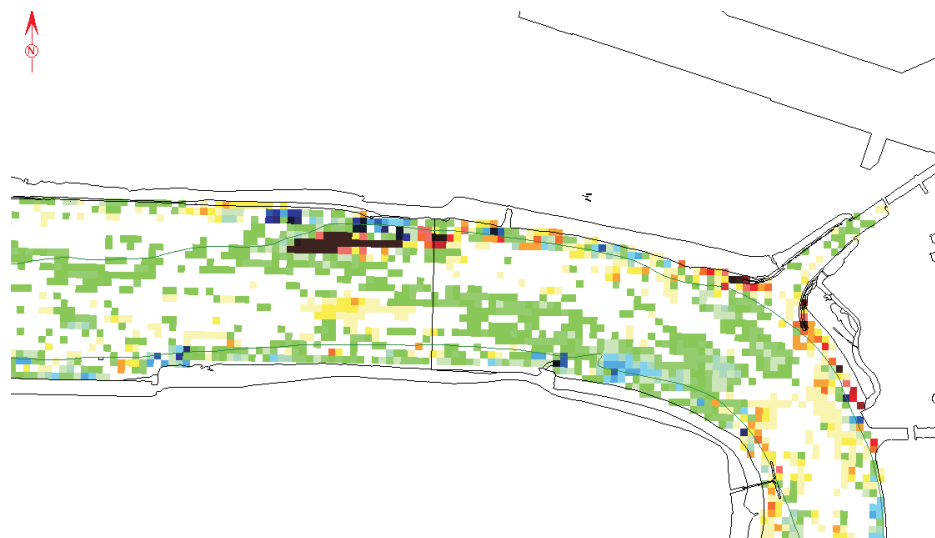
Peiling



Ingrepen



Natuurlijk



Stortlocatie Oosterweel
Erosie-sedimentatiepatroon 2001-2005

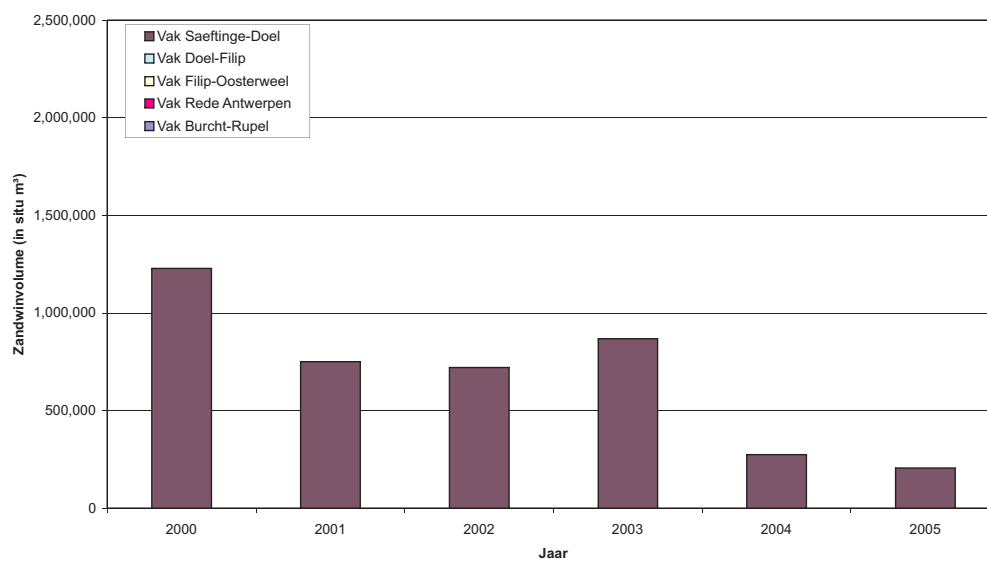
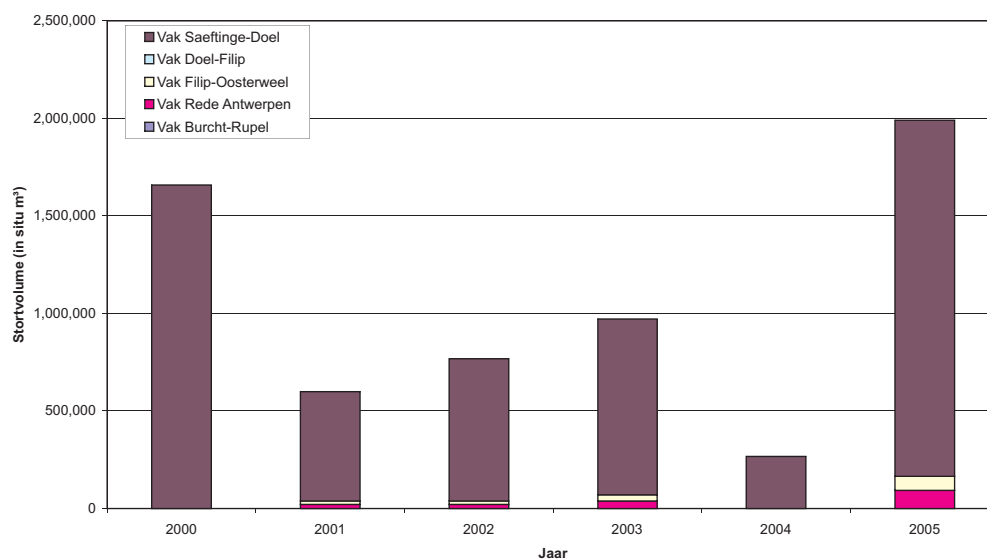
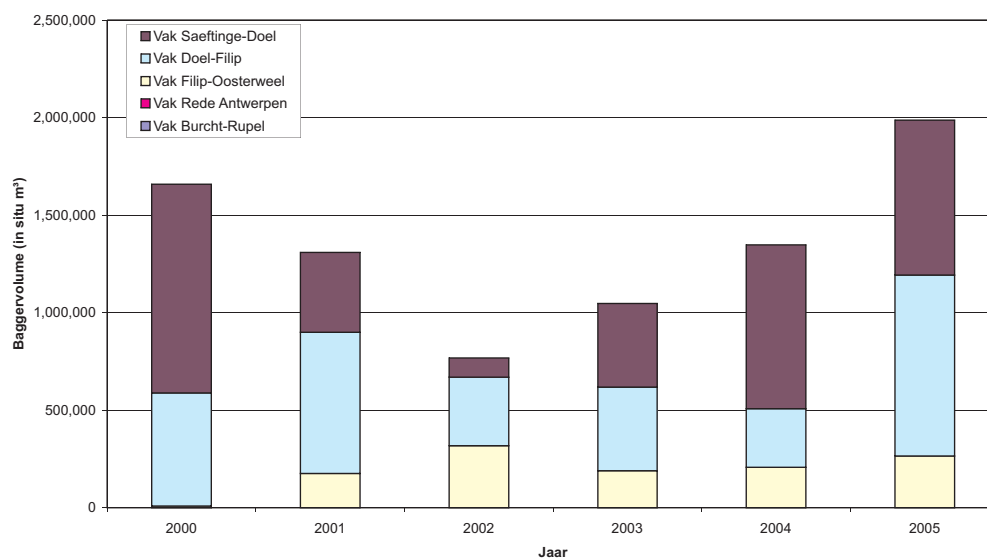
— -11.0 m NAP



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 106



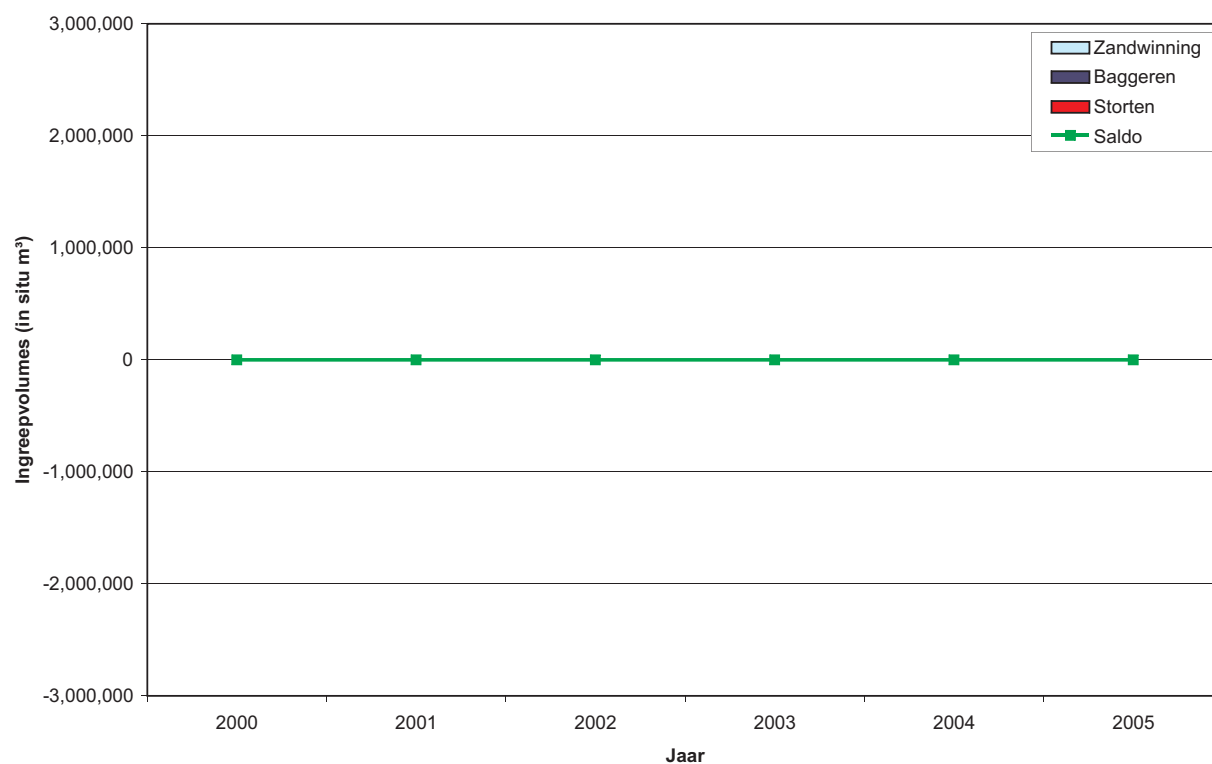
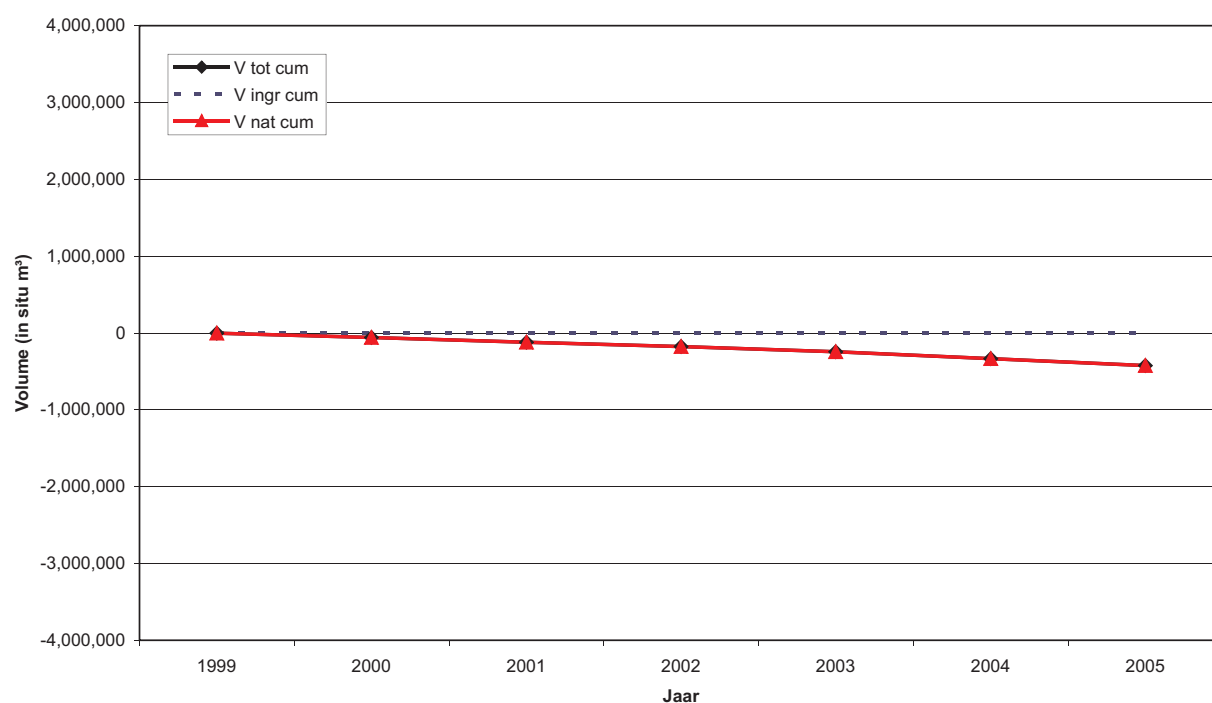
Jaarlijkse ingreepvolumes Beneden Zeeschelde uitgesplitst per deelgebied



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 107



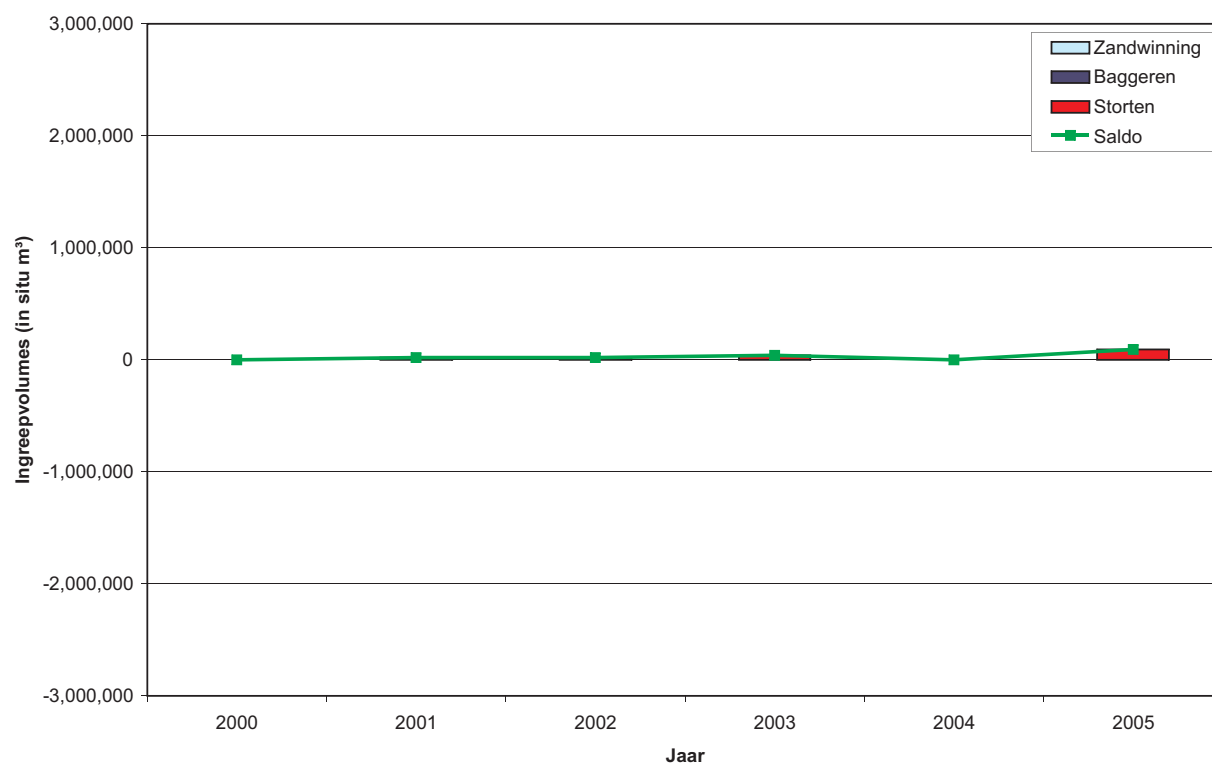
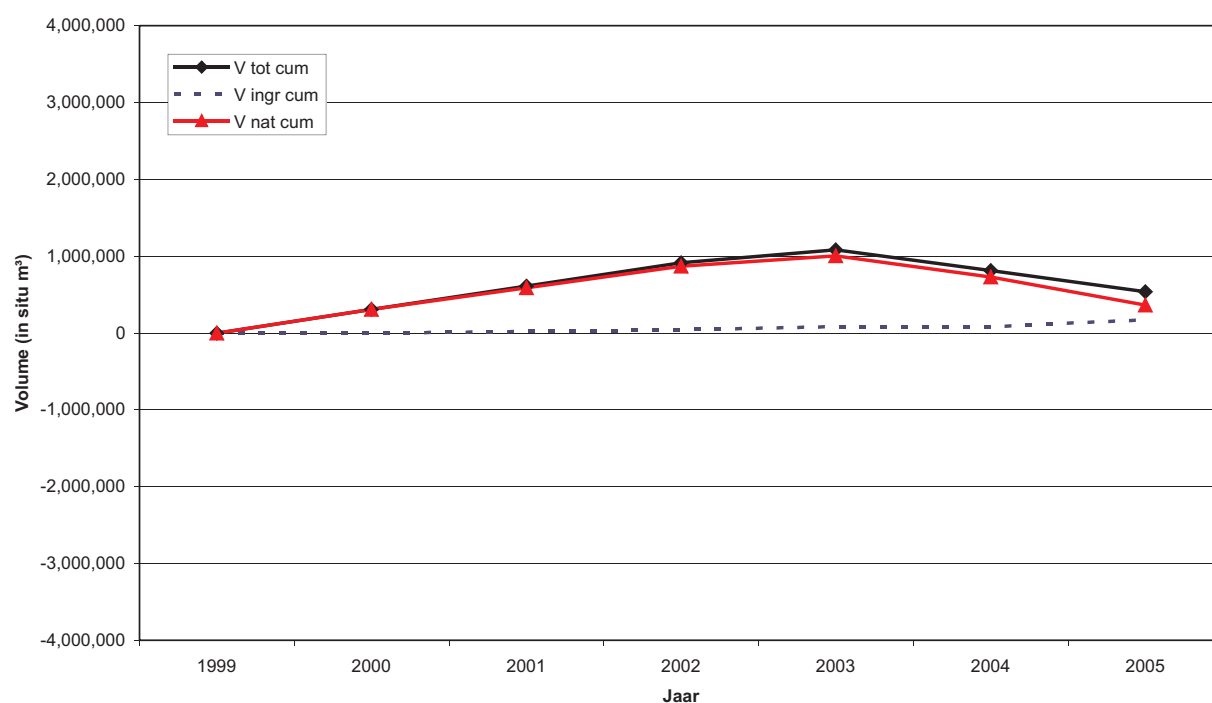
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak Burcht-Rupelmonde



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 108



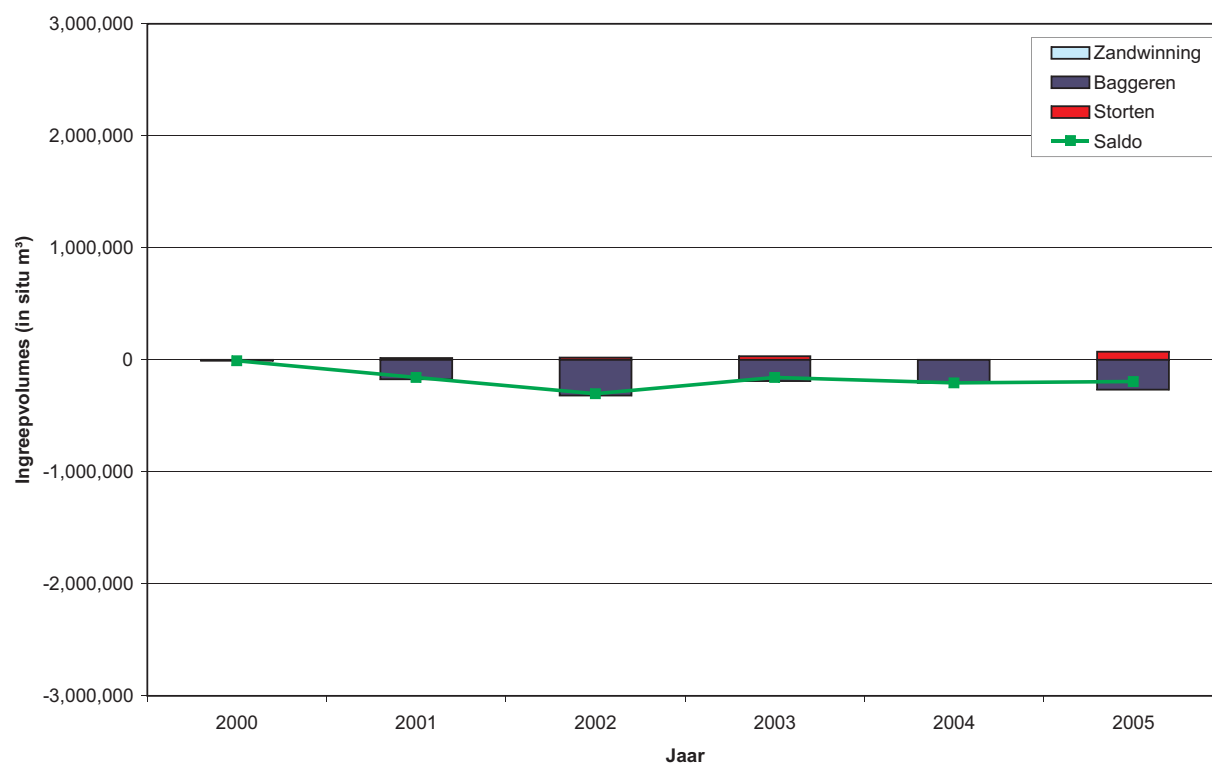
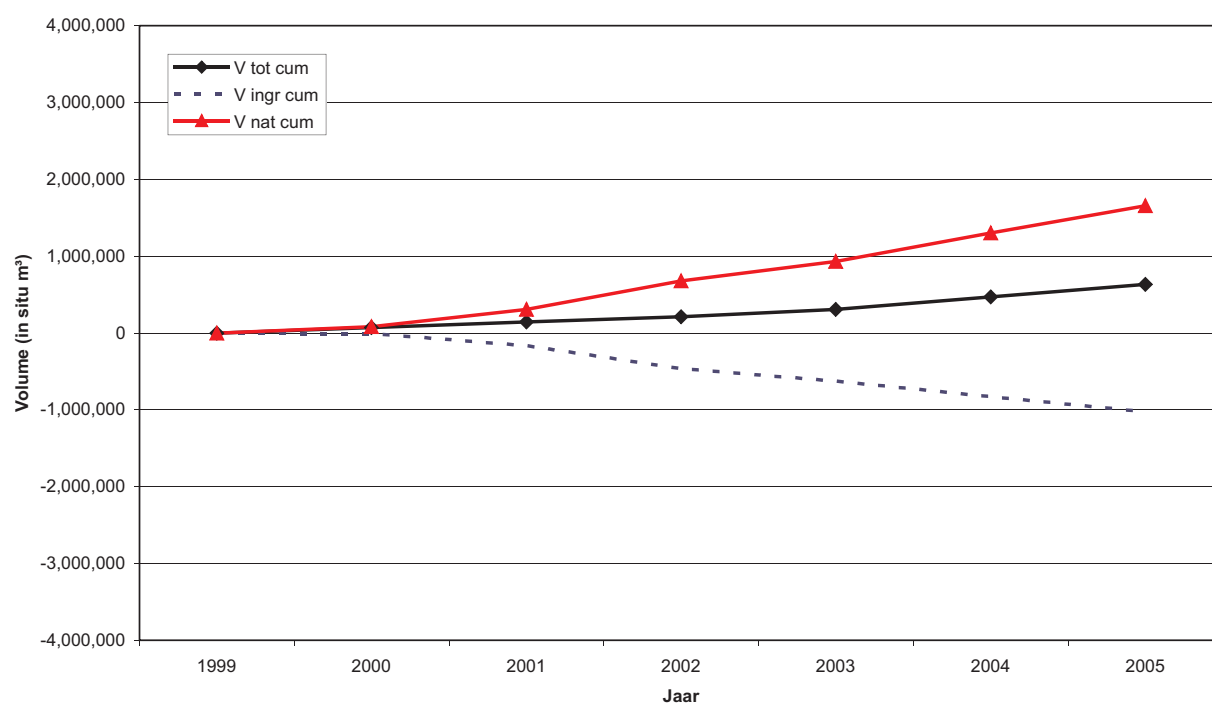
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak Rede-Antwerpen



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 109



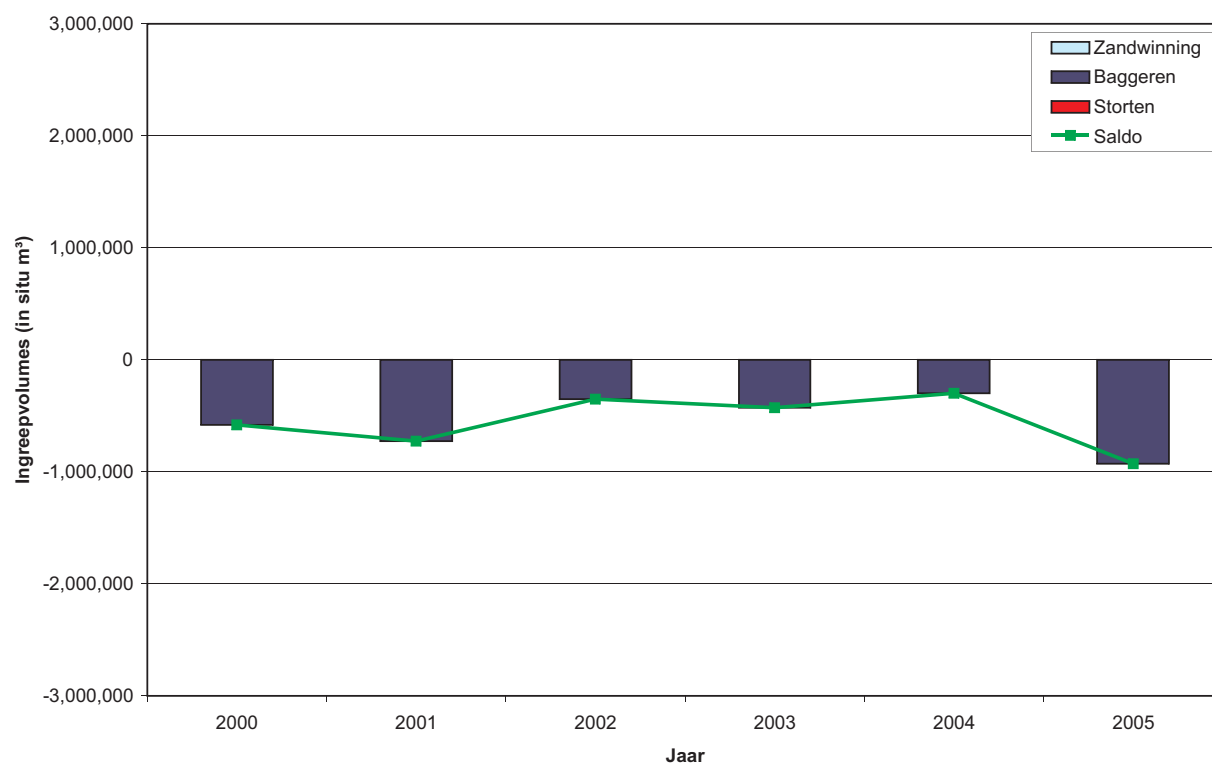
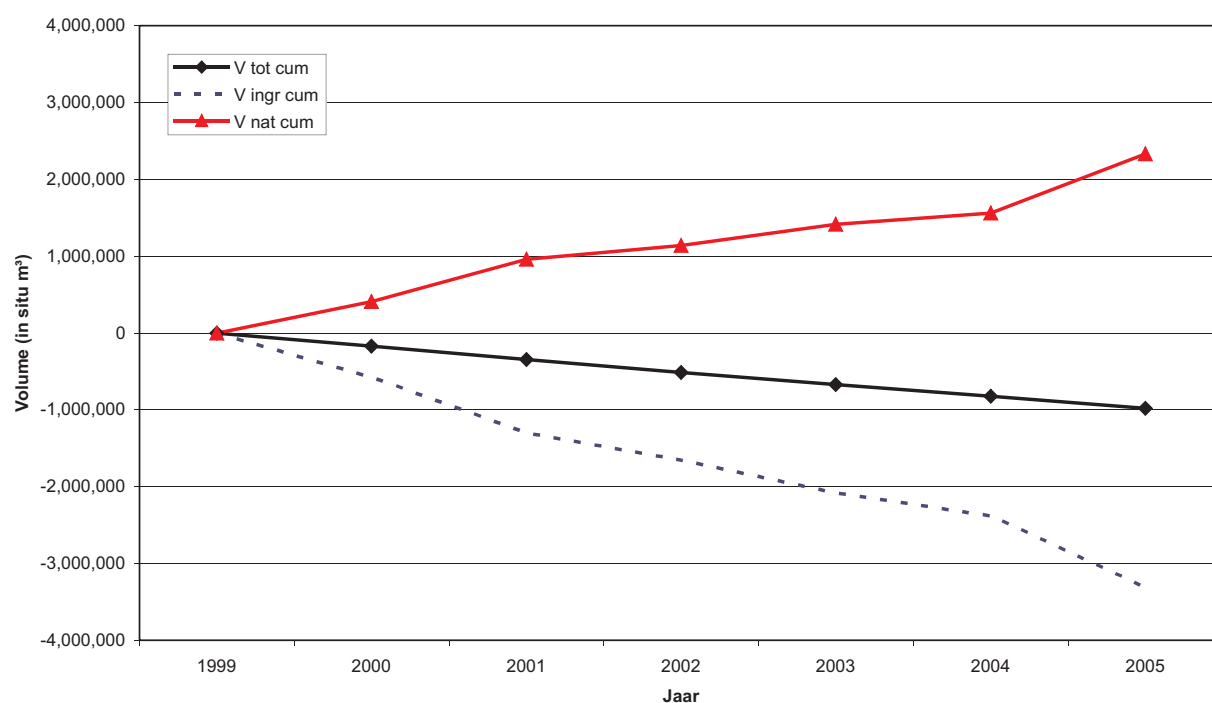
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak Fort Filip-Oosterweel



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 110



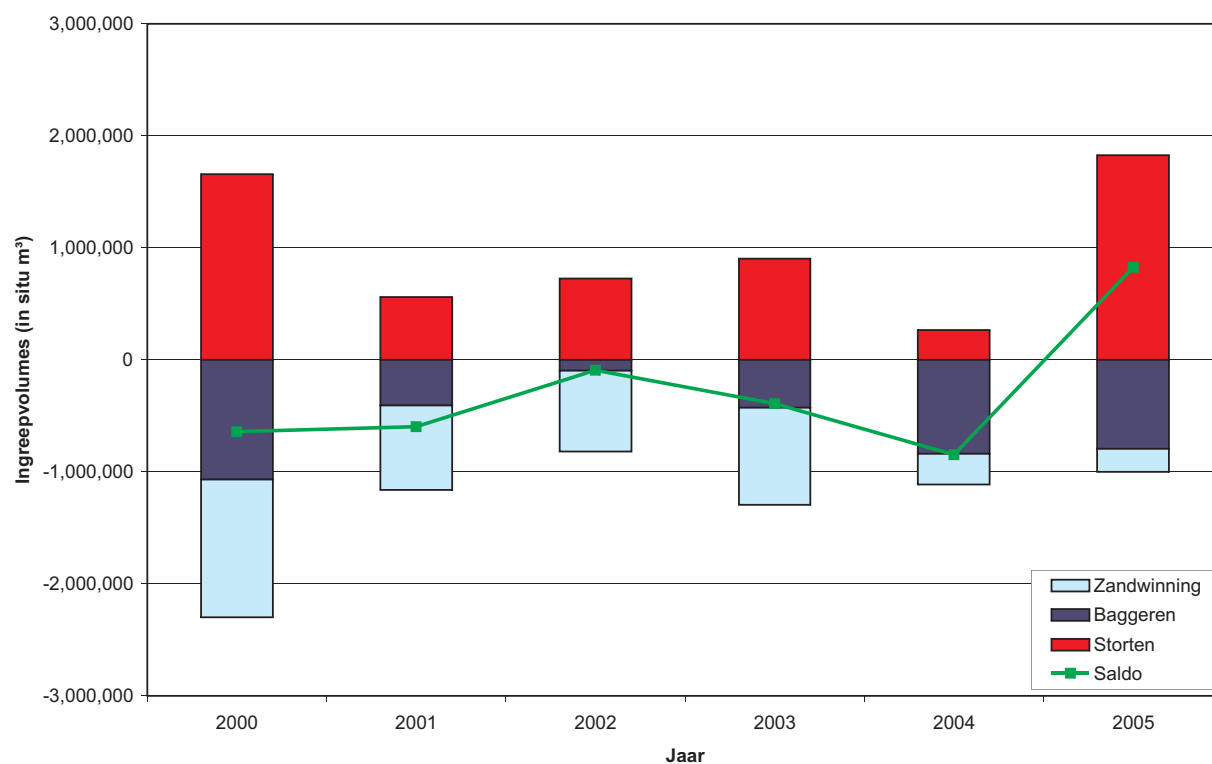
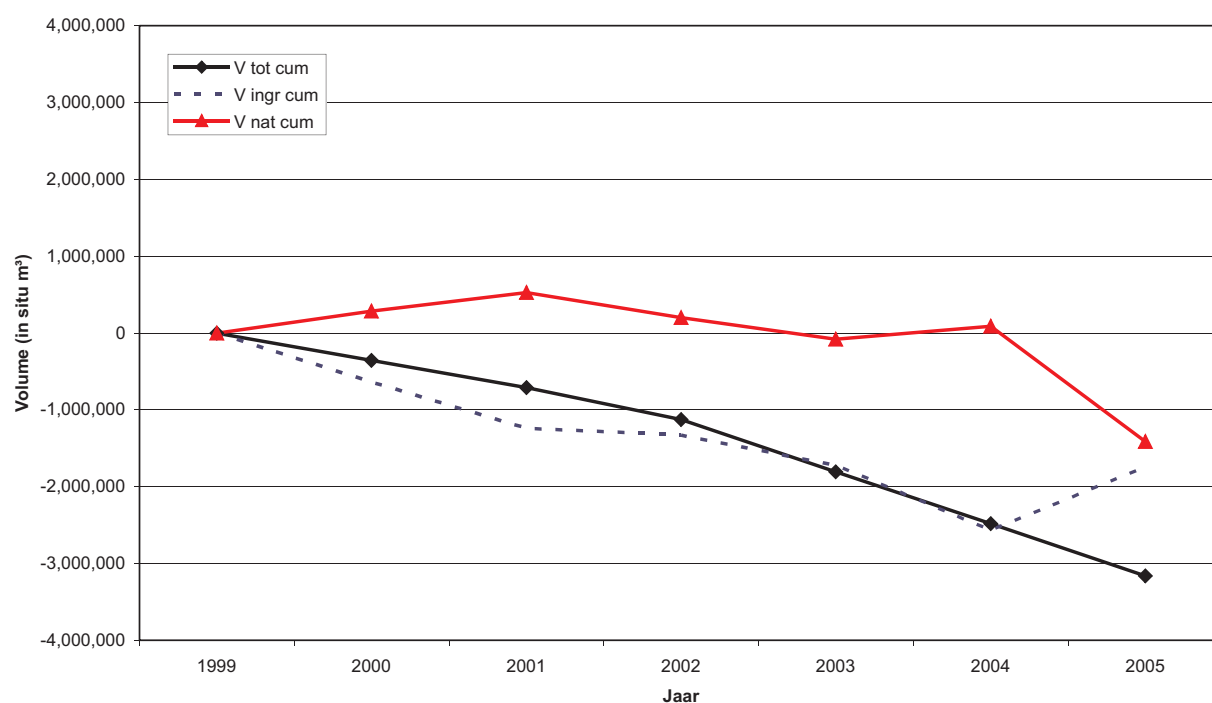
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak Doel-Fort Filip



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 111



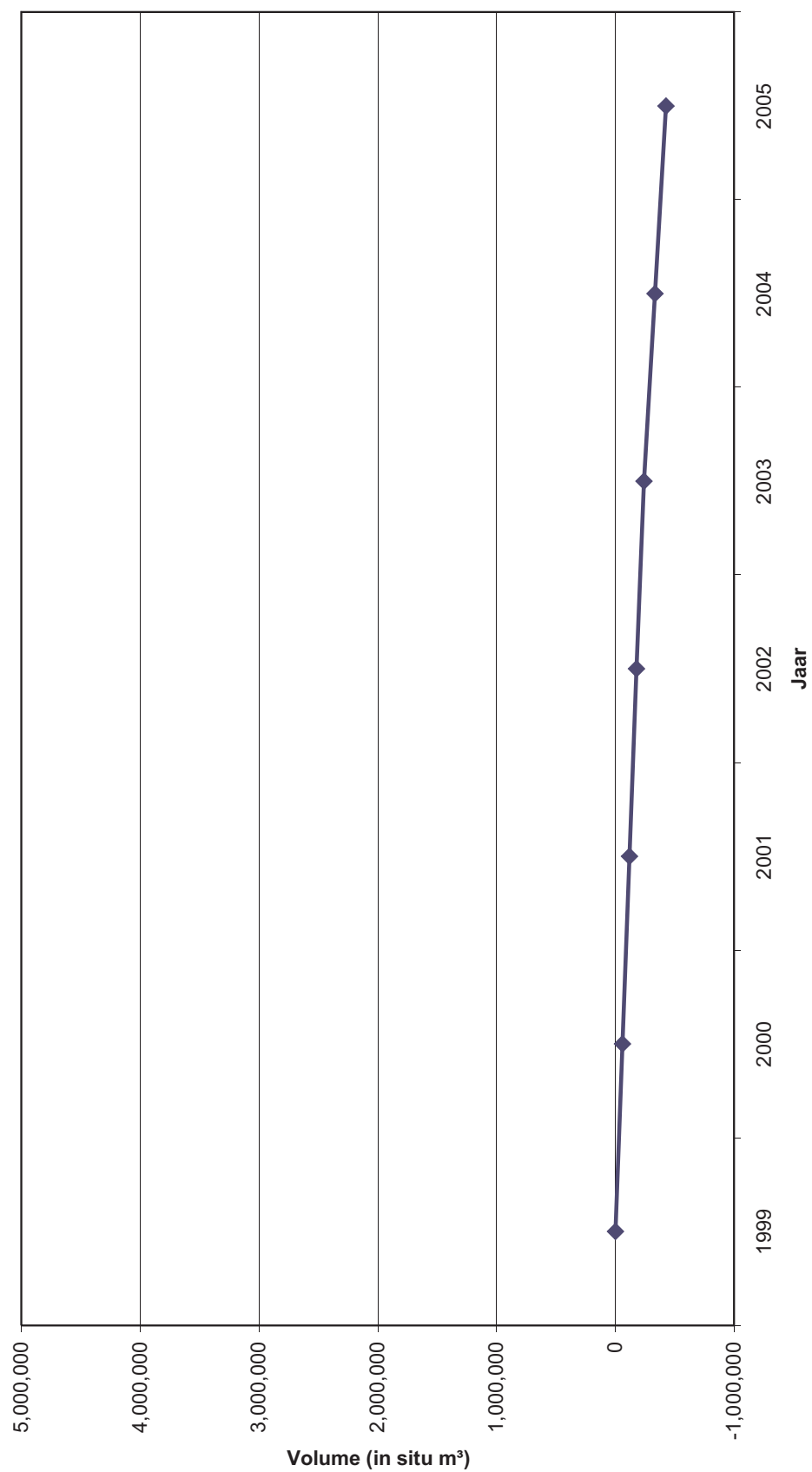
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak Saeftinge-Doel



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 112



Sedimentuitwisseling tussen vak Burcht-Rupelmonde en vak Rede Antwerpen

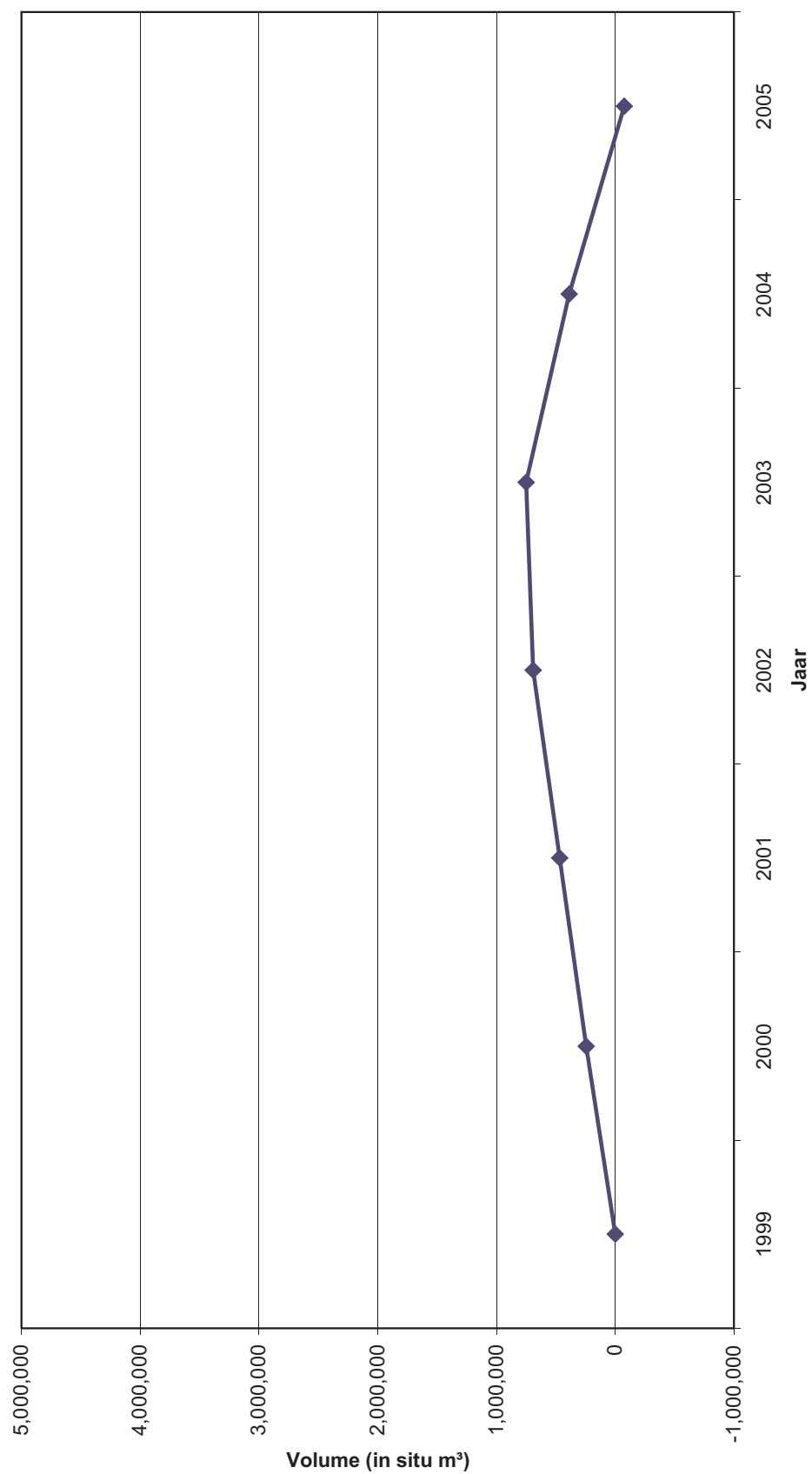
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 113



Sedimentuitwisseling tussen vak Rede Antwerpen en vak Fort Filip-Oosterweel

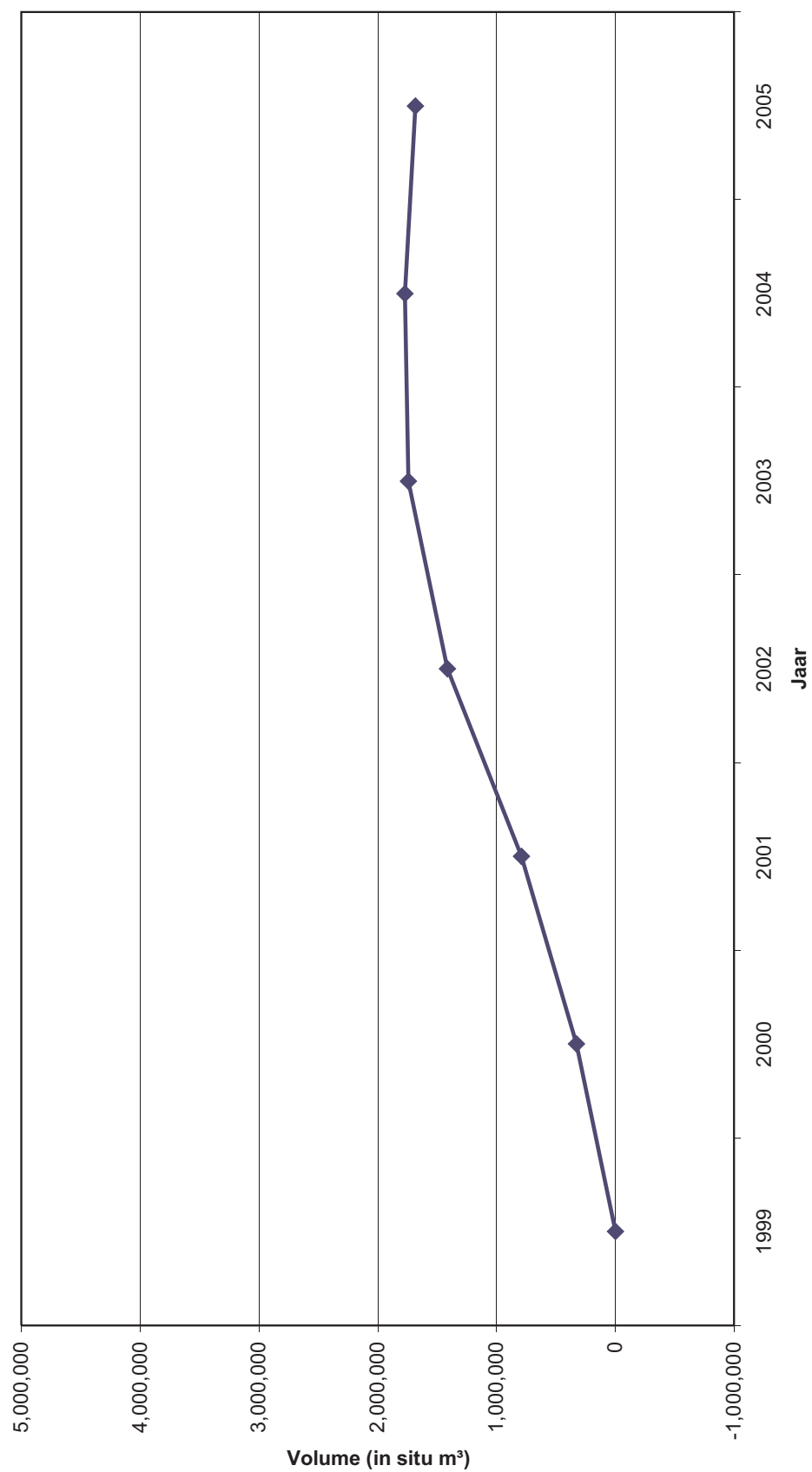
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 114



Sedimentuitwisseling tussen vak Fort Filip-Oosterweel en vak Doel-Fort Filip

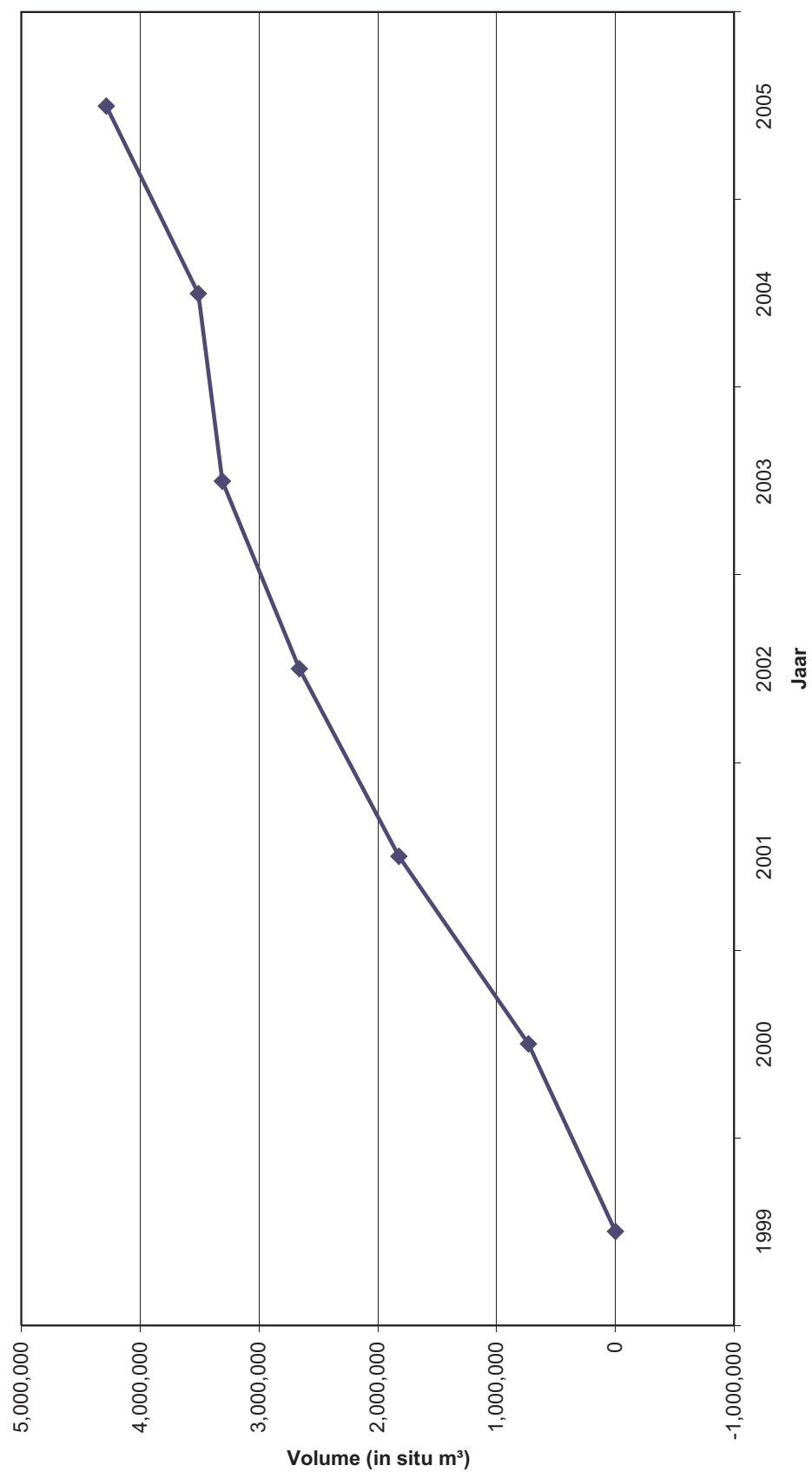
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 115



Sedimentuitwisseling tussen vak Doel-Fort Filip en vak Saeftinge-Doel

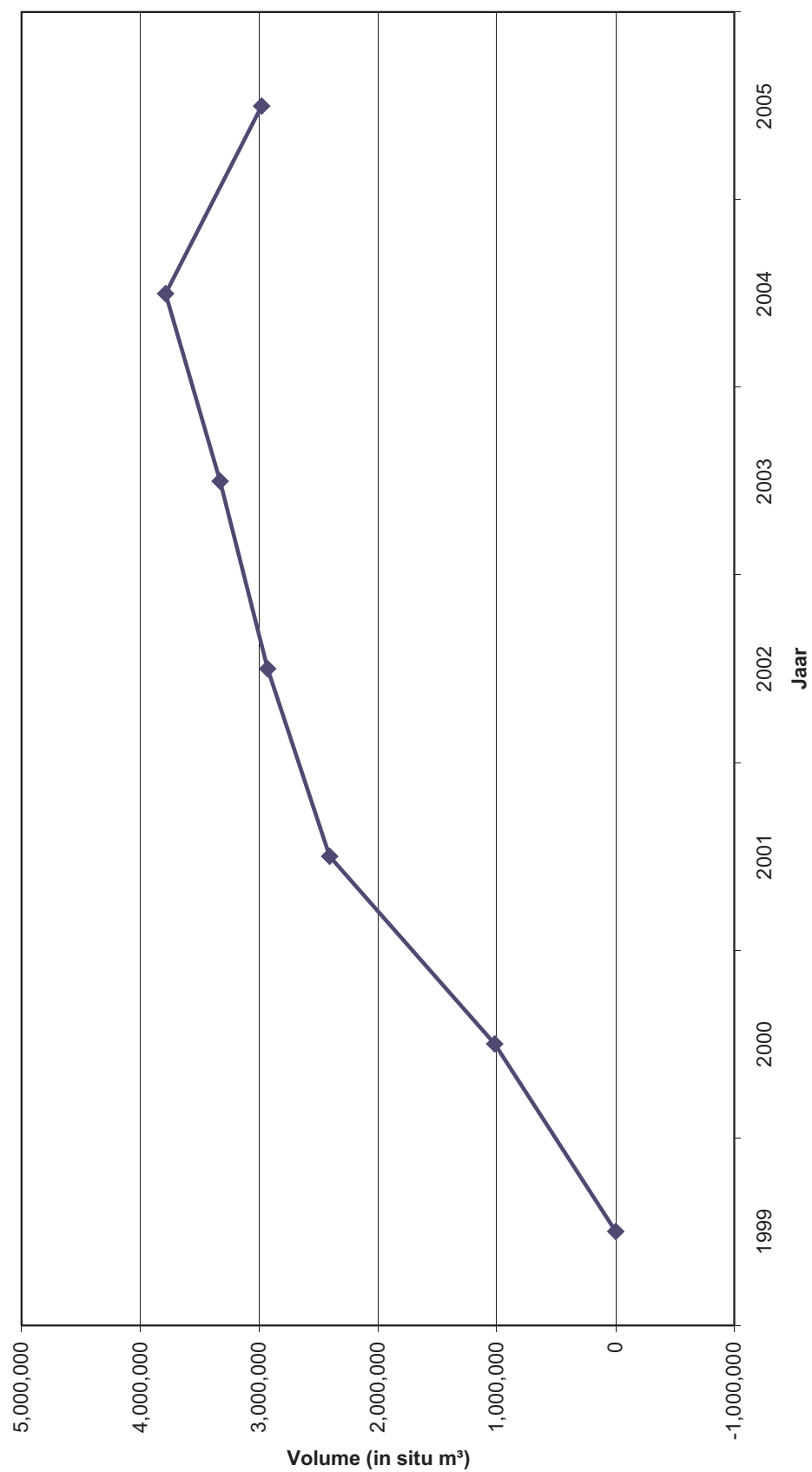
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 116



Sedimentuitwisseling ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens

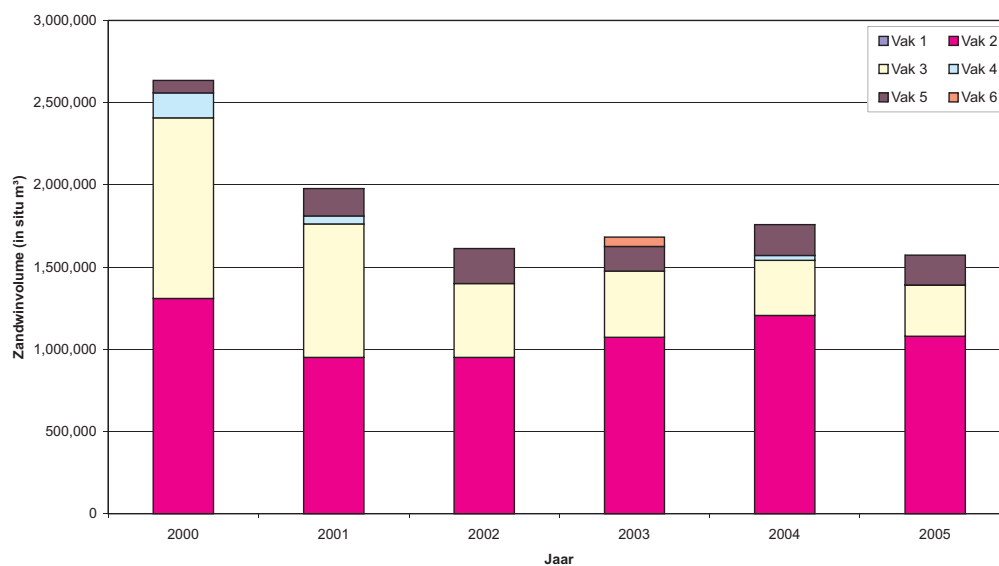
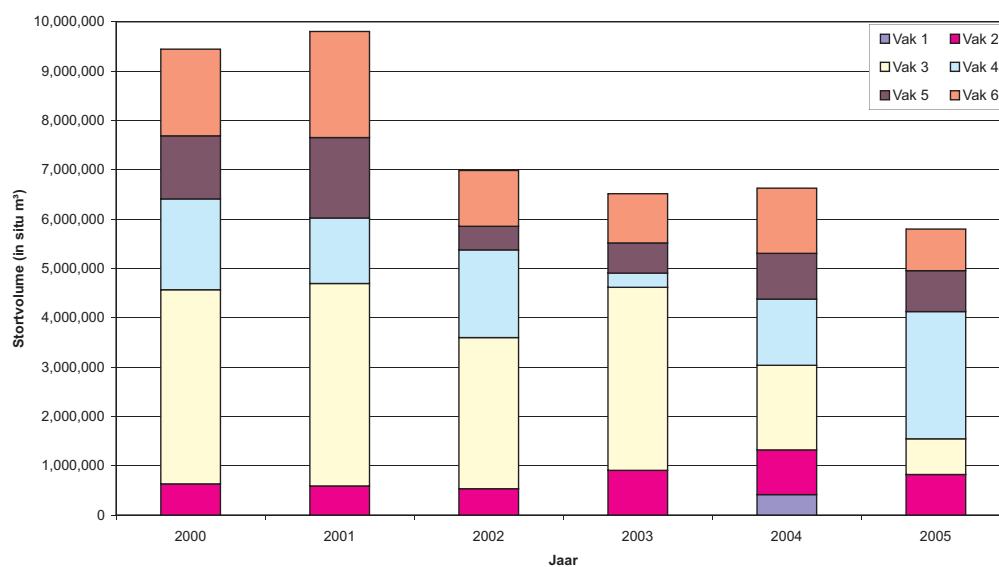
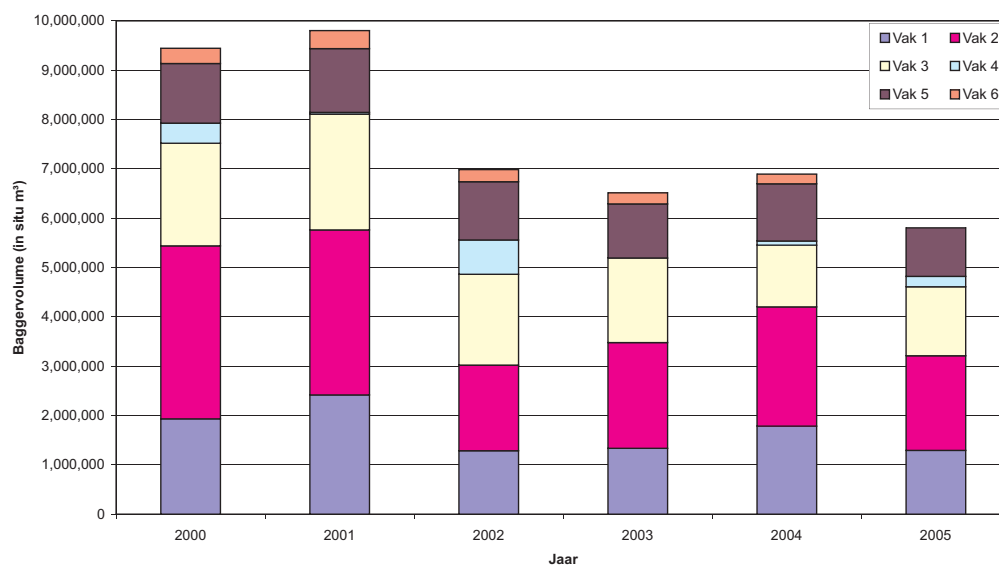
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 117



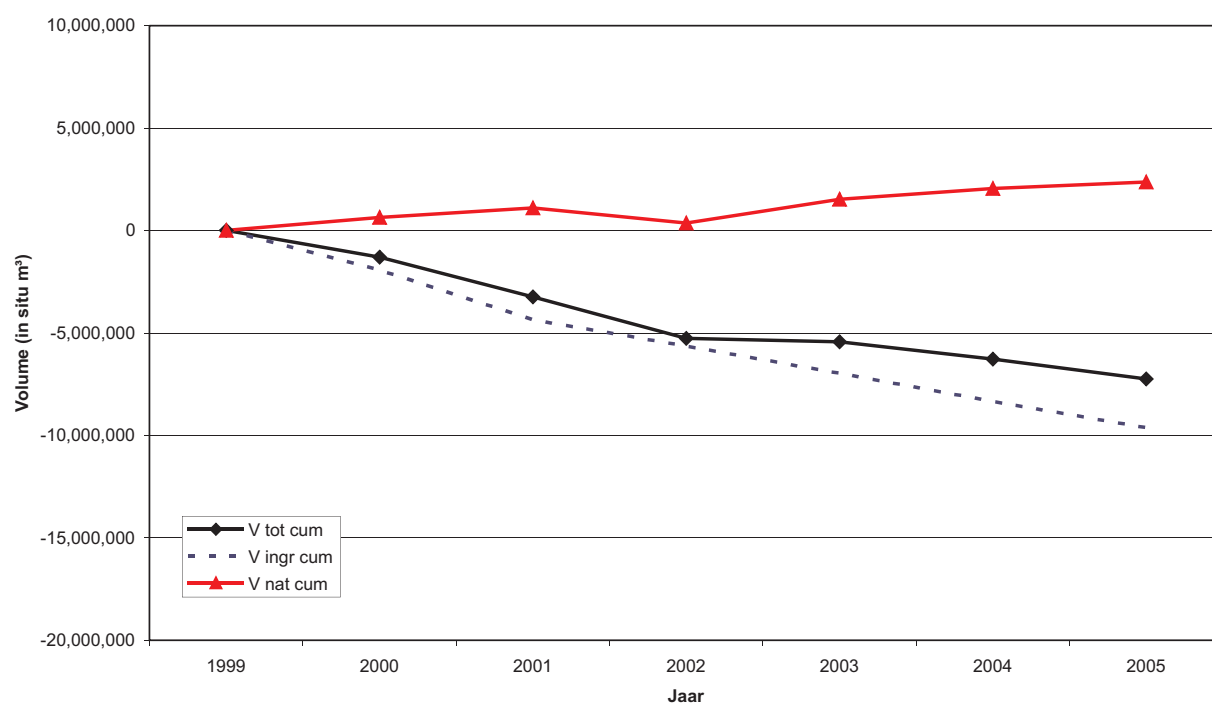
Jaarlijkse ingreepvolumes Westerschelde uitgesplitst per deelgebied



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 118



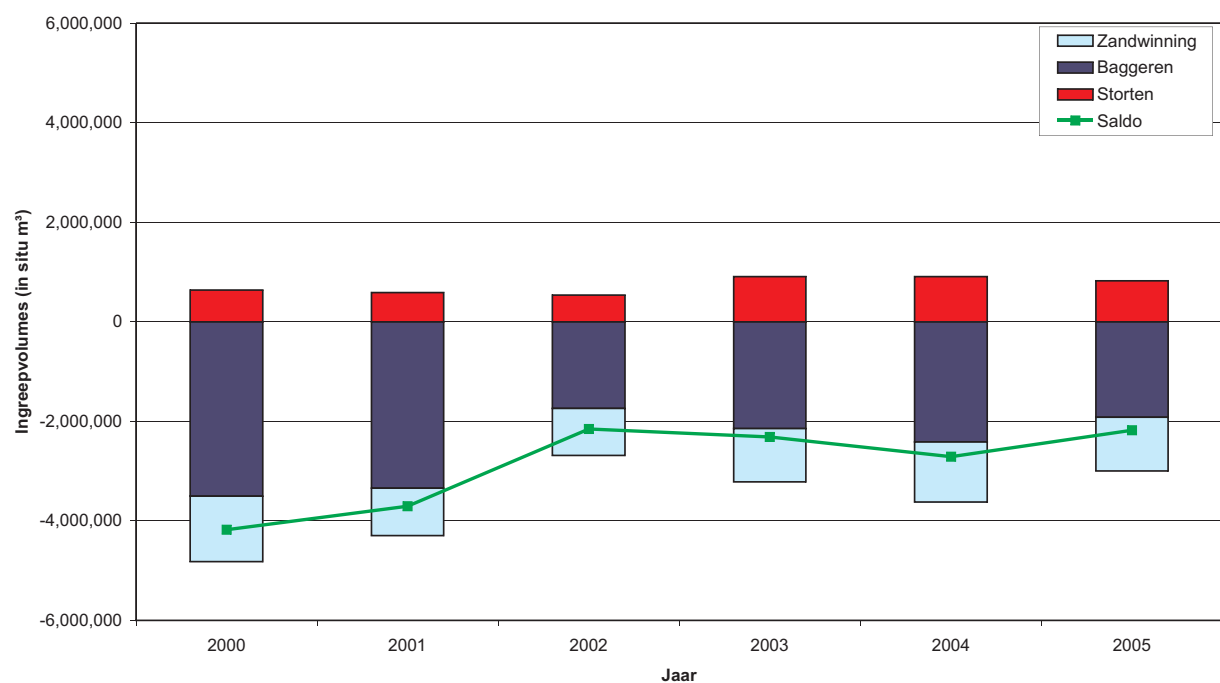
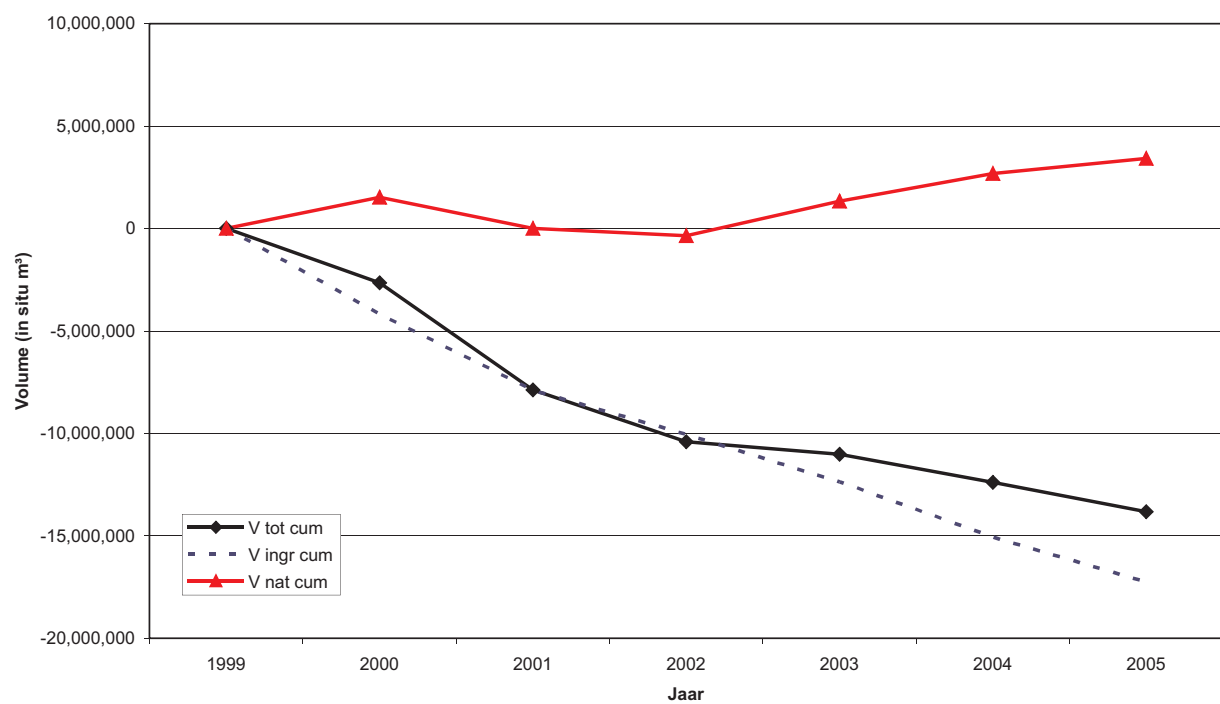
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak 1 Westerschelde



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 119



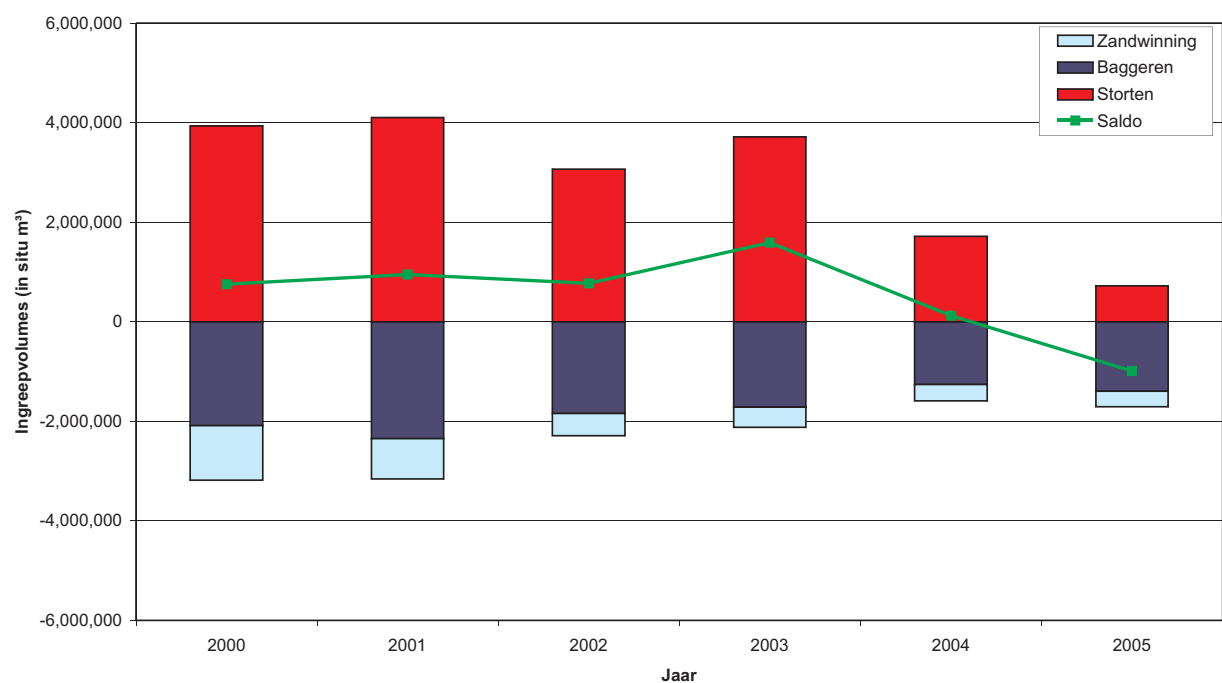
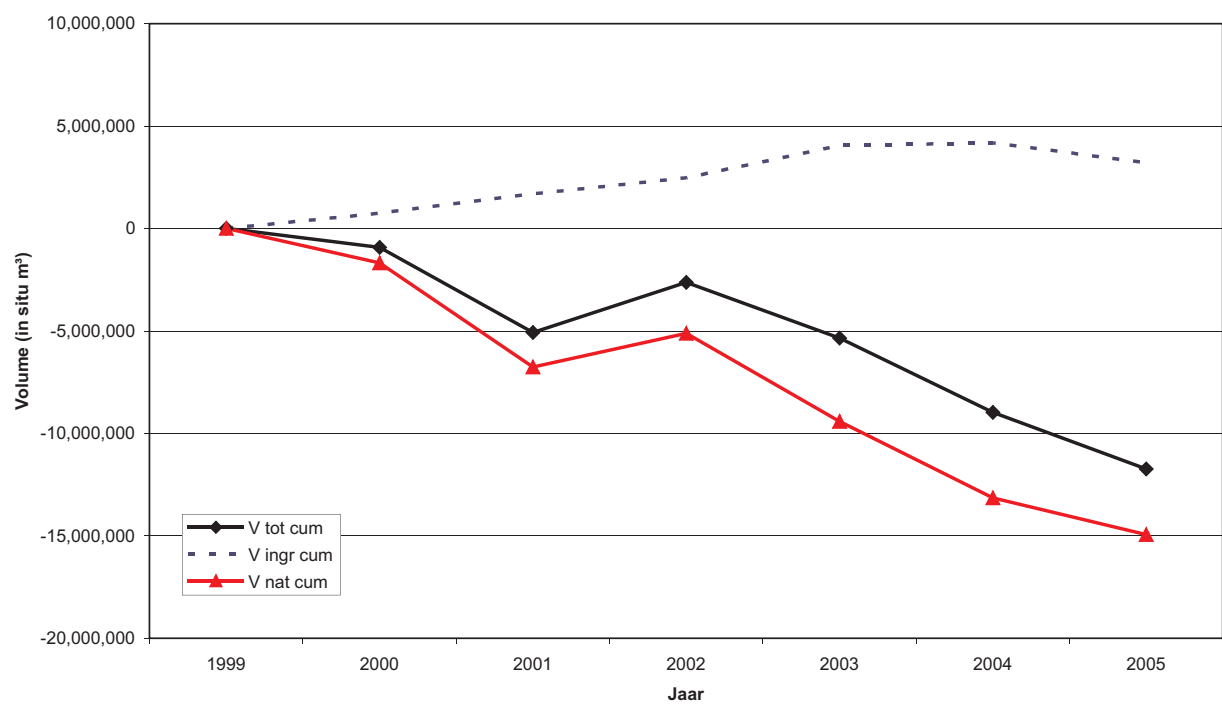
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak 2 Westerschelde



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 120



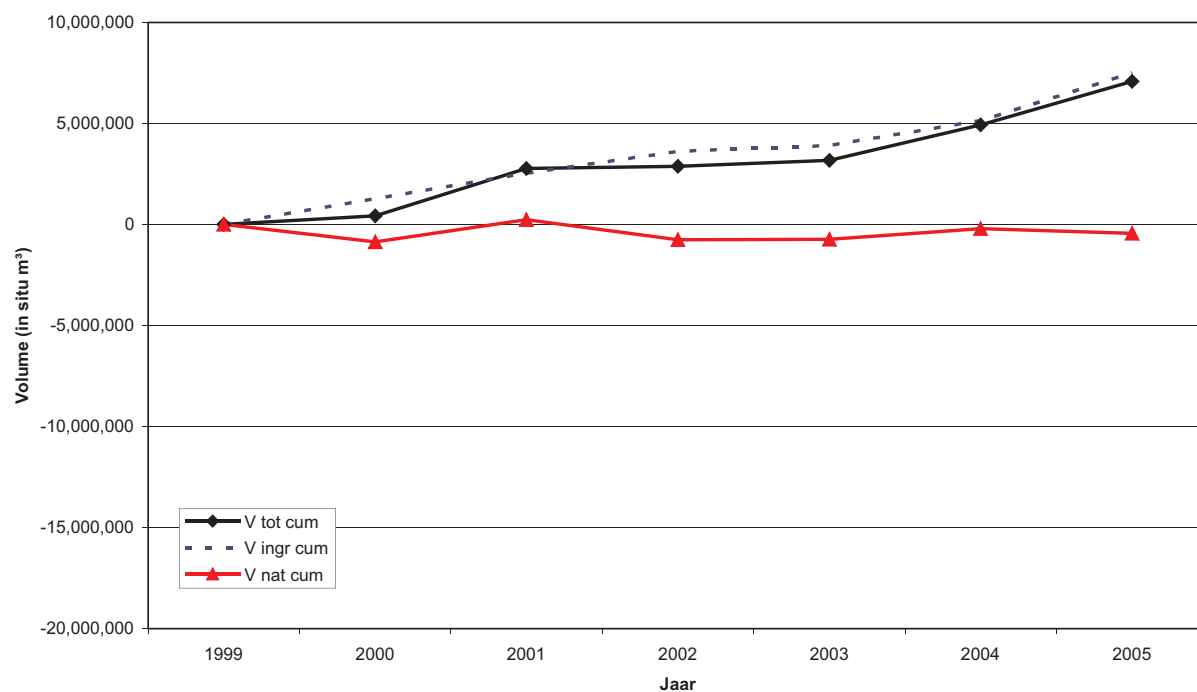
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak 3 Westerschelde



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 121



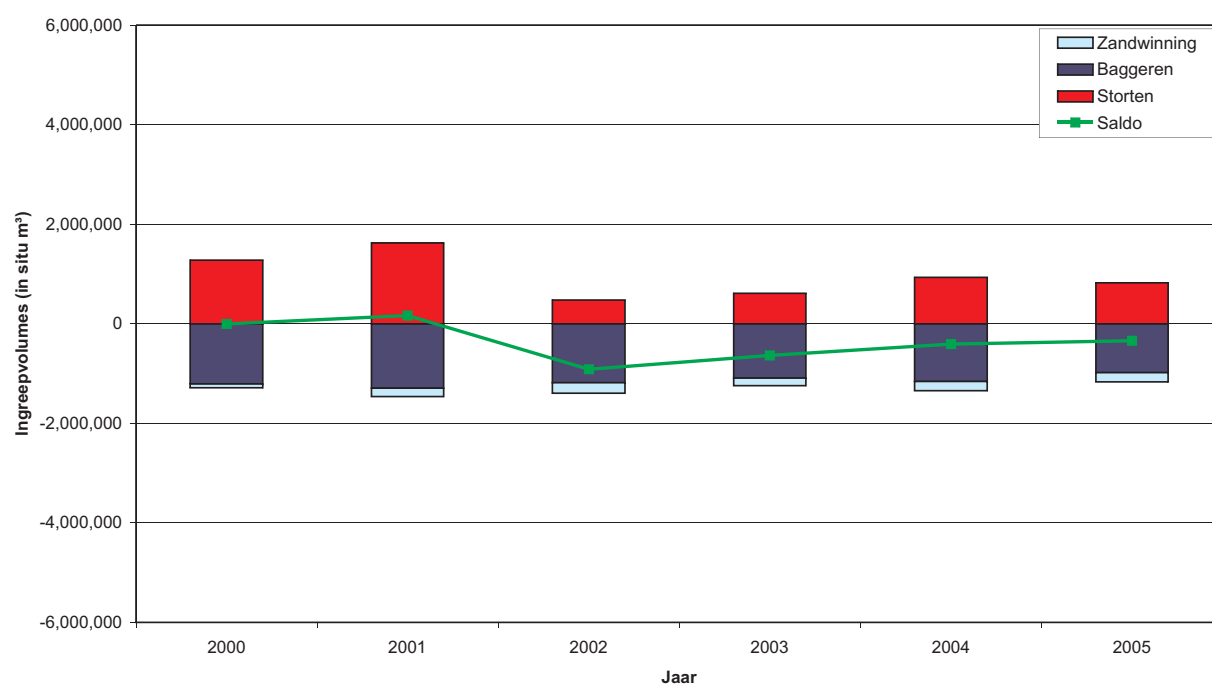
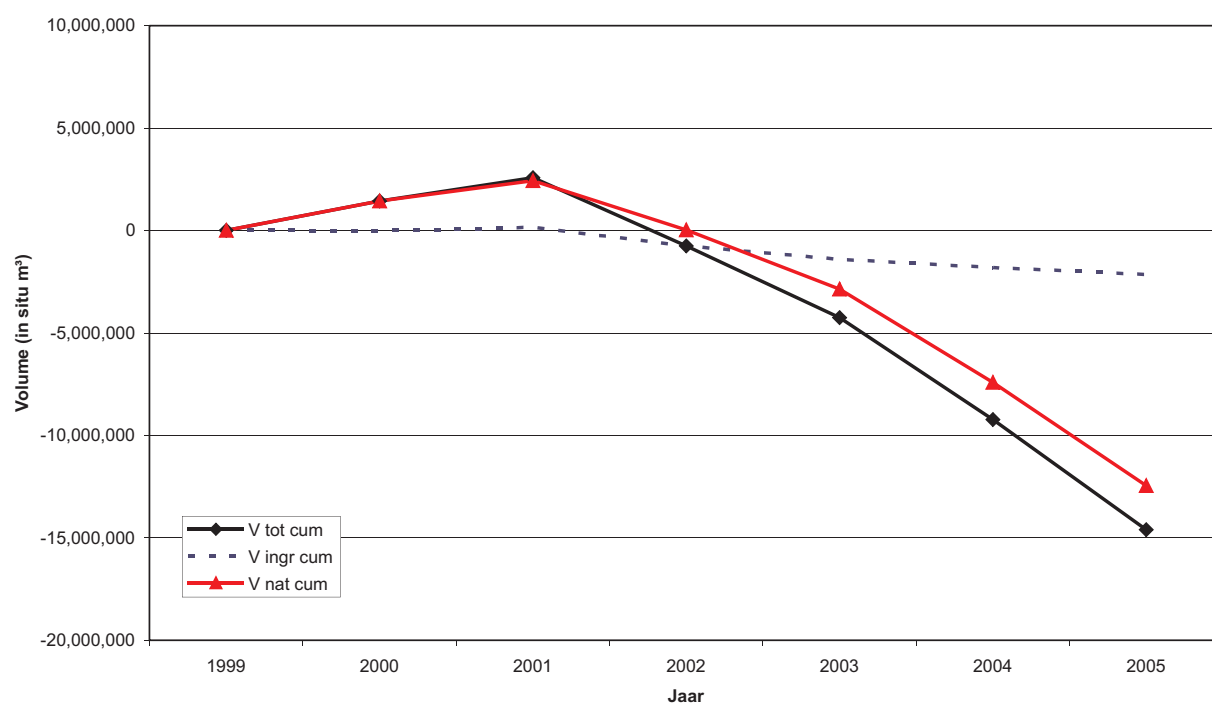
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak 4 Westerschelde



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 122



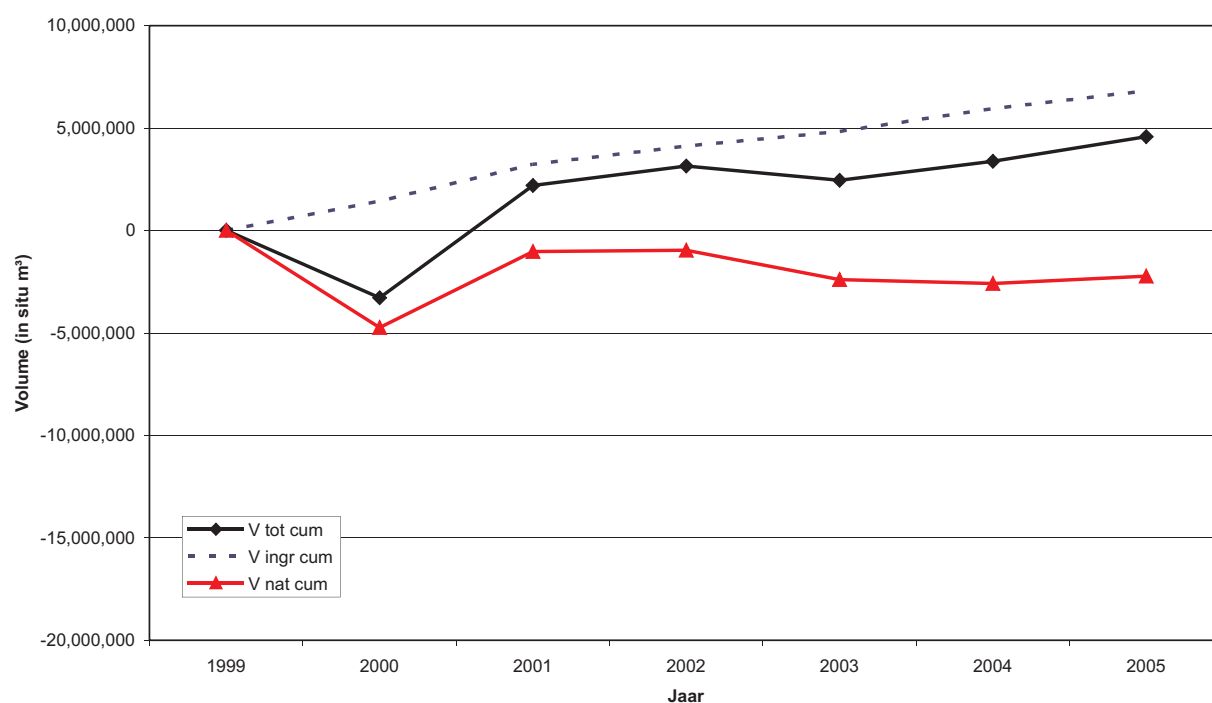
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak 5 Westerschelde



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 123



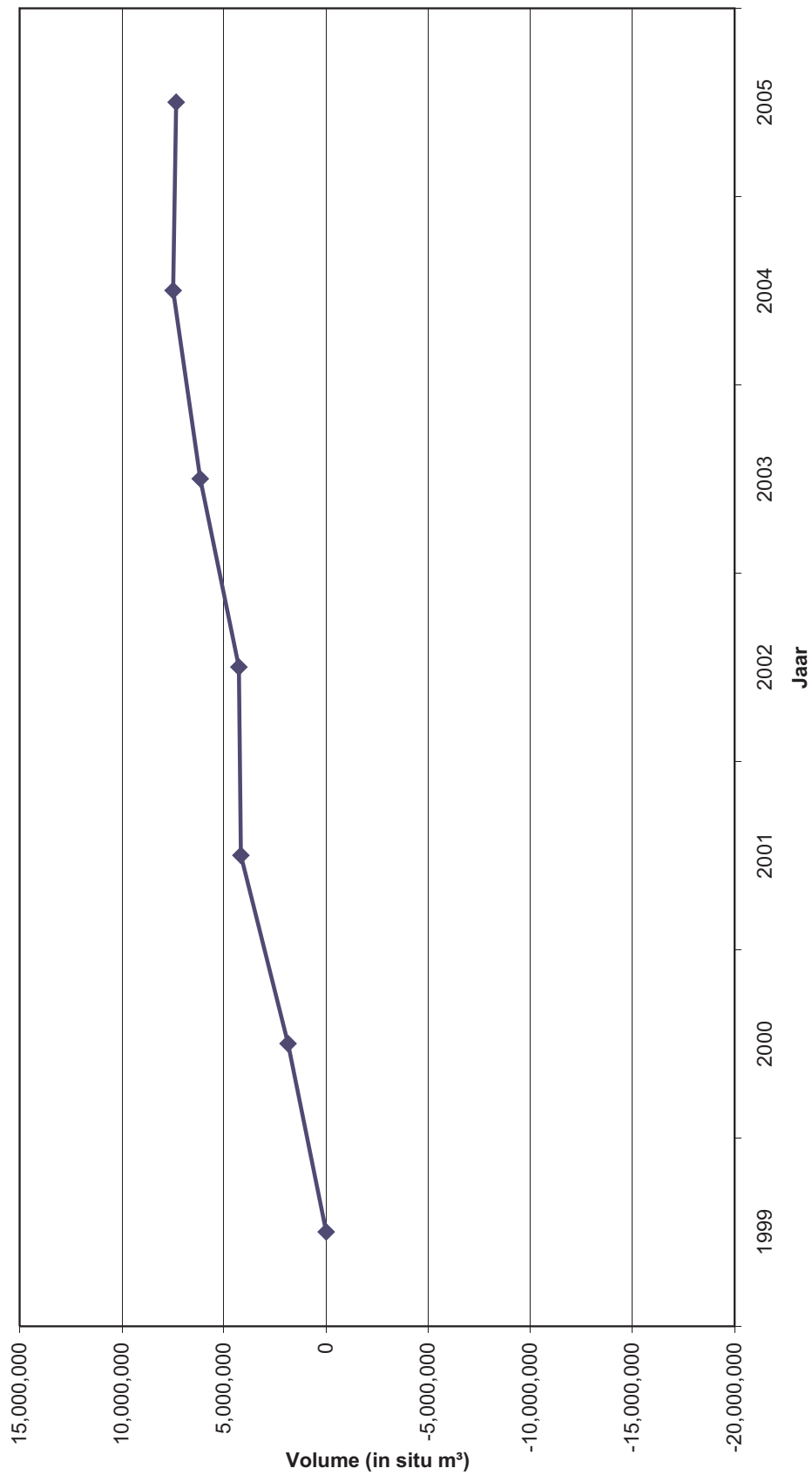
Zandbalans (bovenaan) en menselijke ingrepen (onderaan)
vak 6 Westerschelde



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 124



Sedimentuitwisseling Westerschelde tussen vak 1 en vak 2

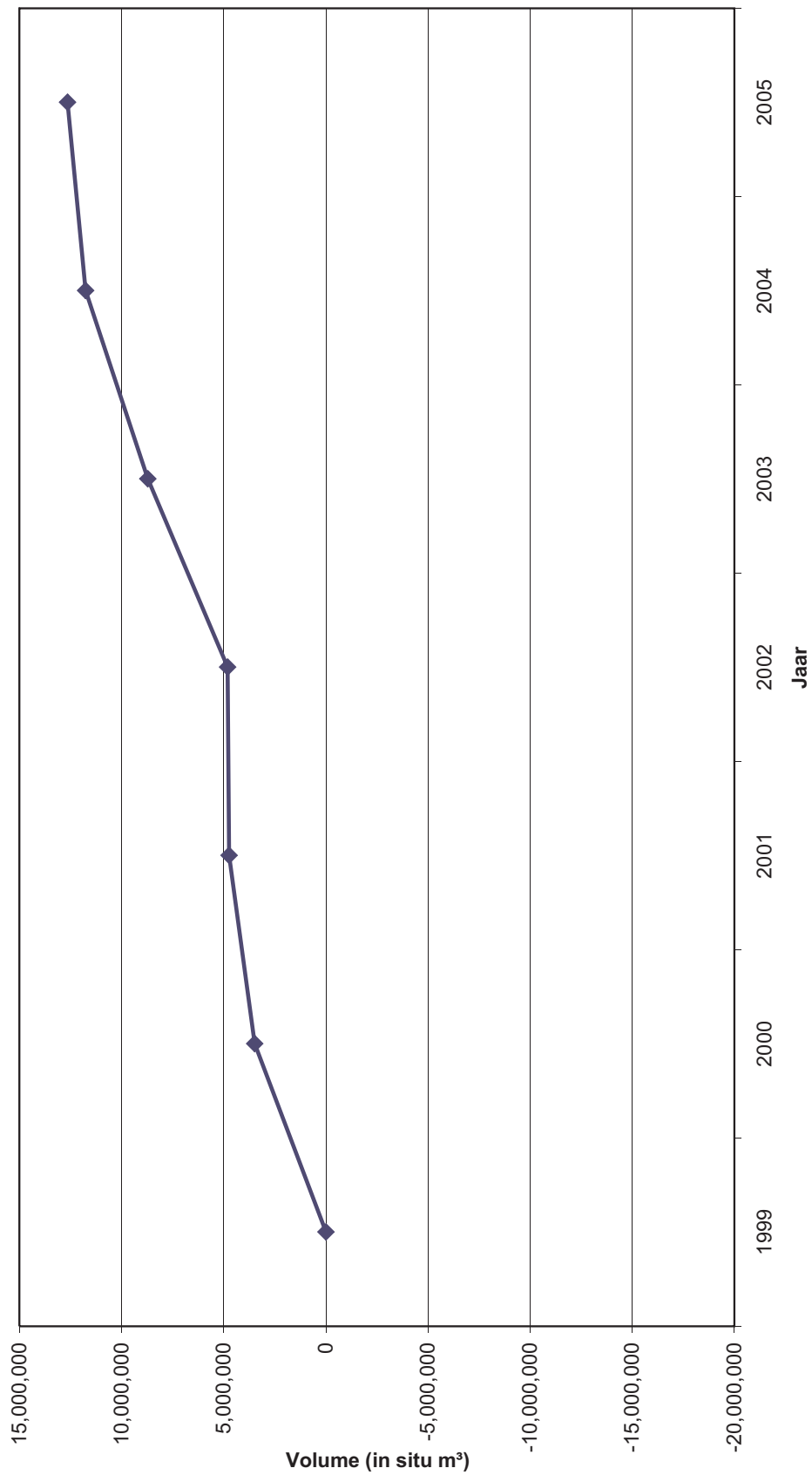
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 125



Sedimentuitwisseling Westerschelde tussen vak 2 en vak 3

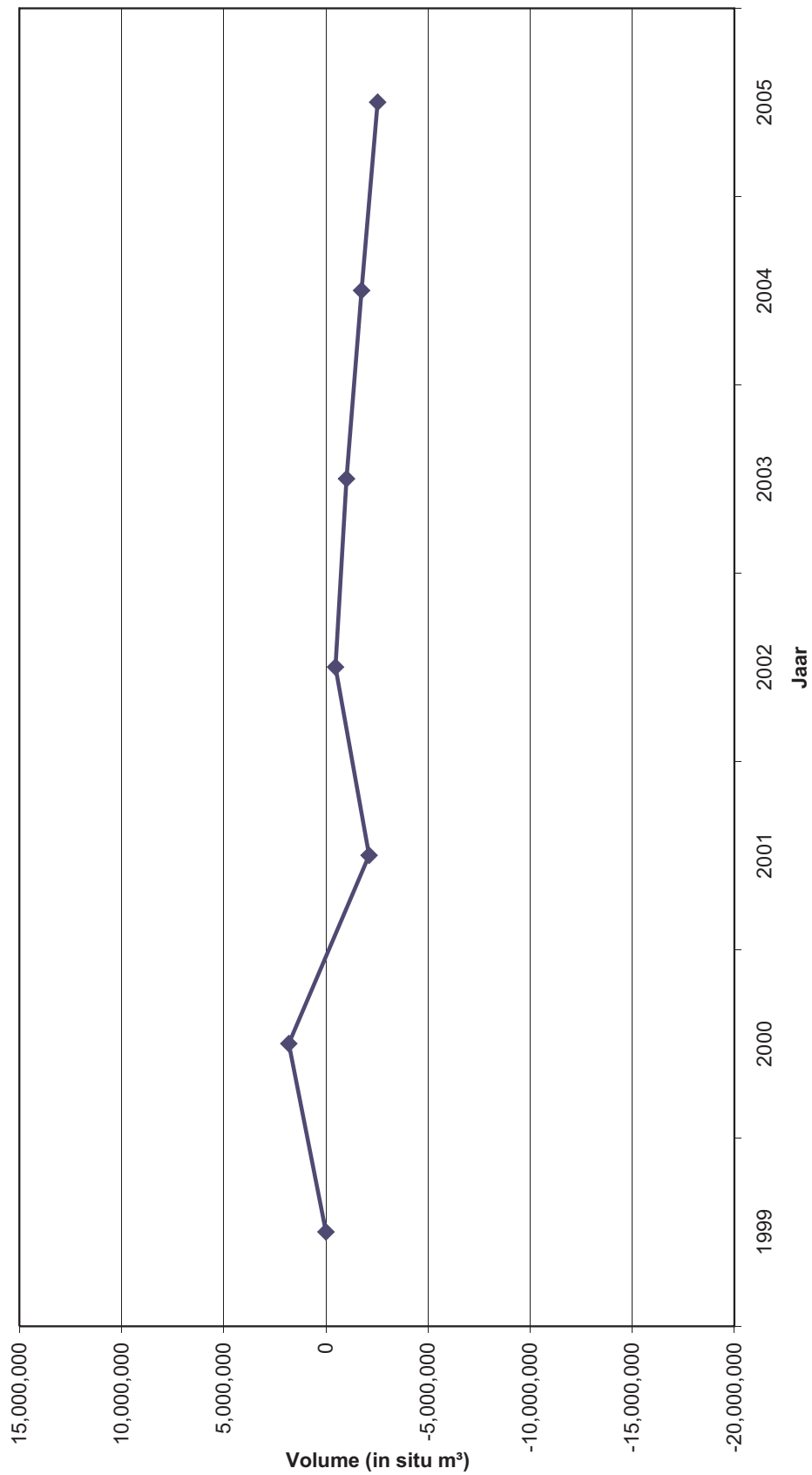
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 126



Sedimentuitwisseling Westerschelde tussen vak 3 en vak 4

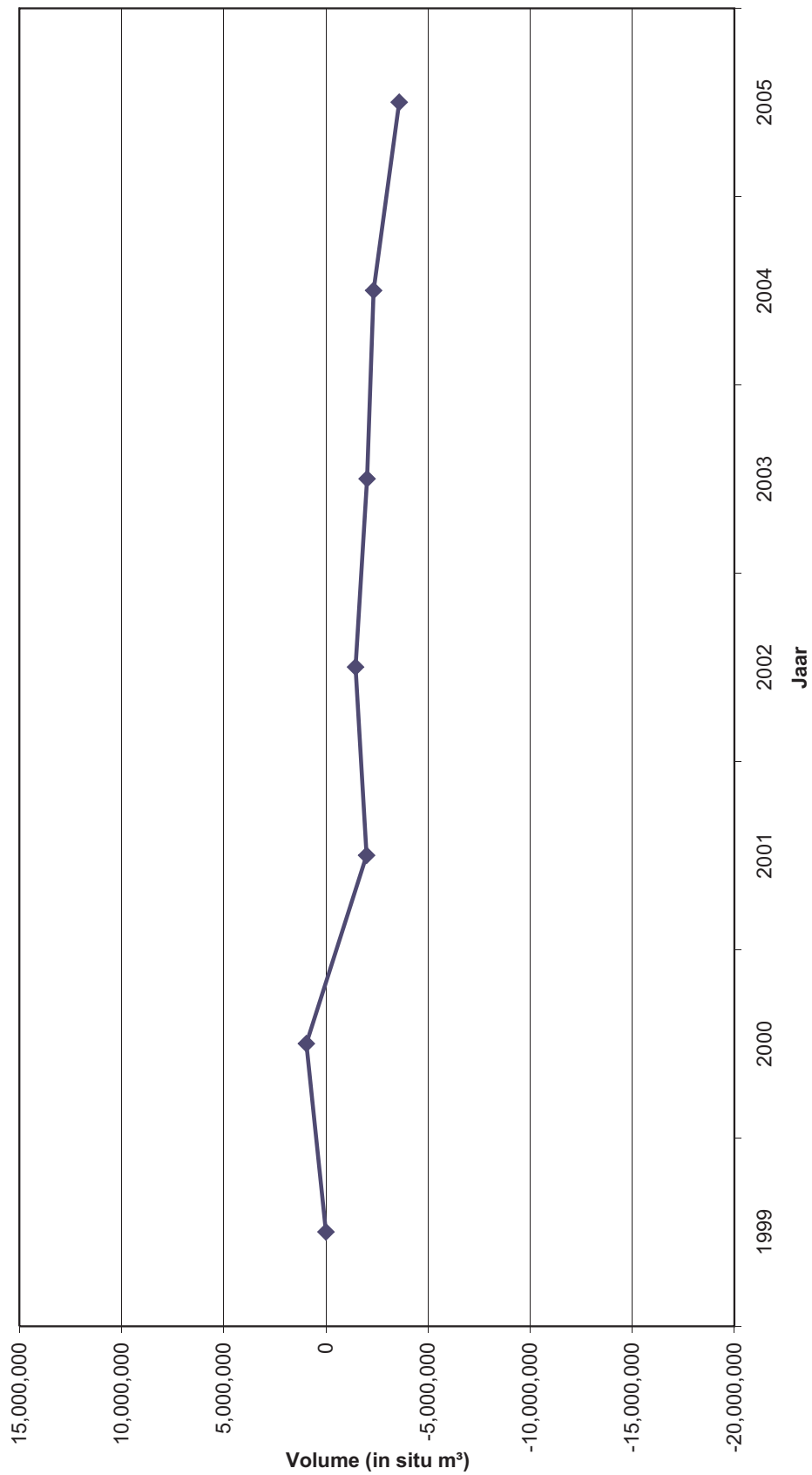
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 127



Sedimentuitwisseling Westerschelde tussen vak 4 en vak 5

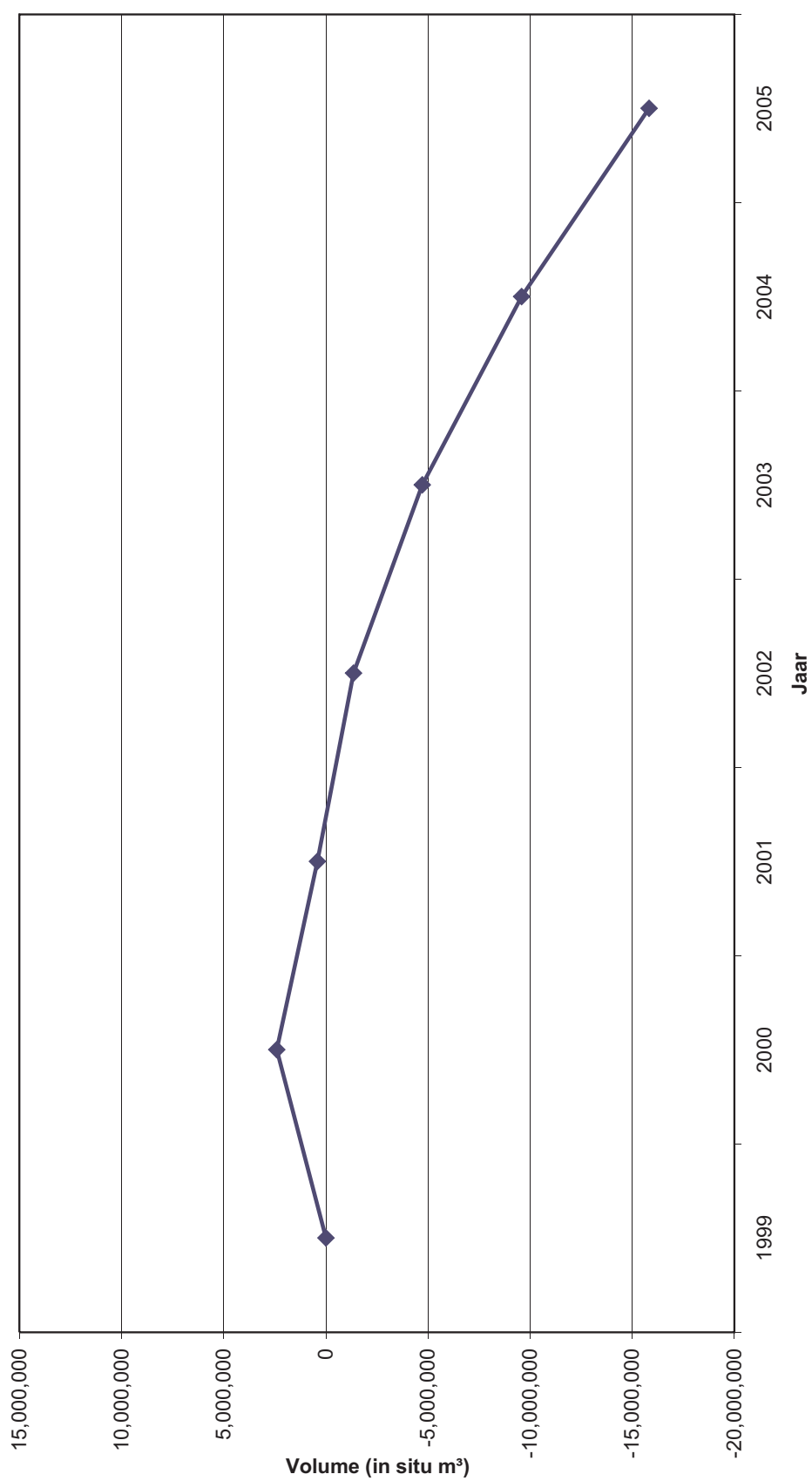
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 128



Sedimentuitwisseling Westerschelde tussen vak 5 en vak 6

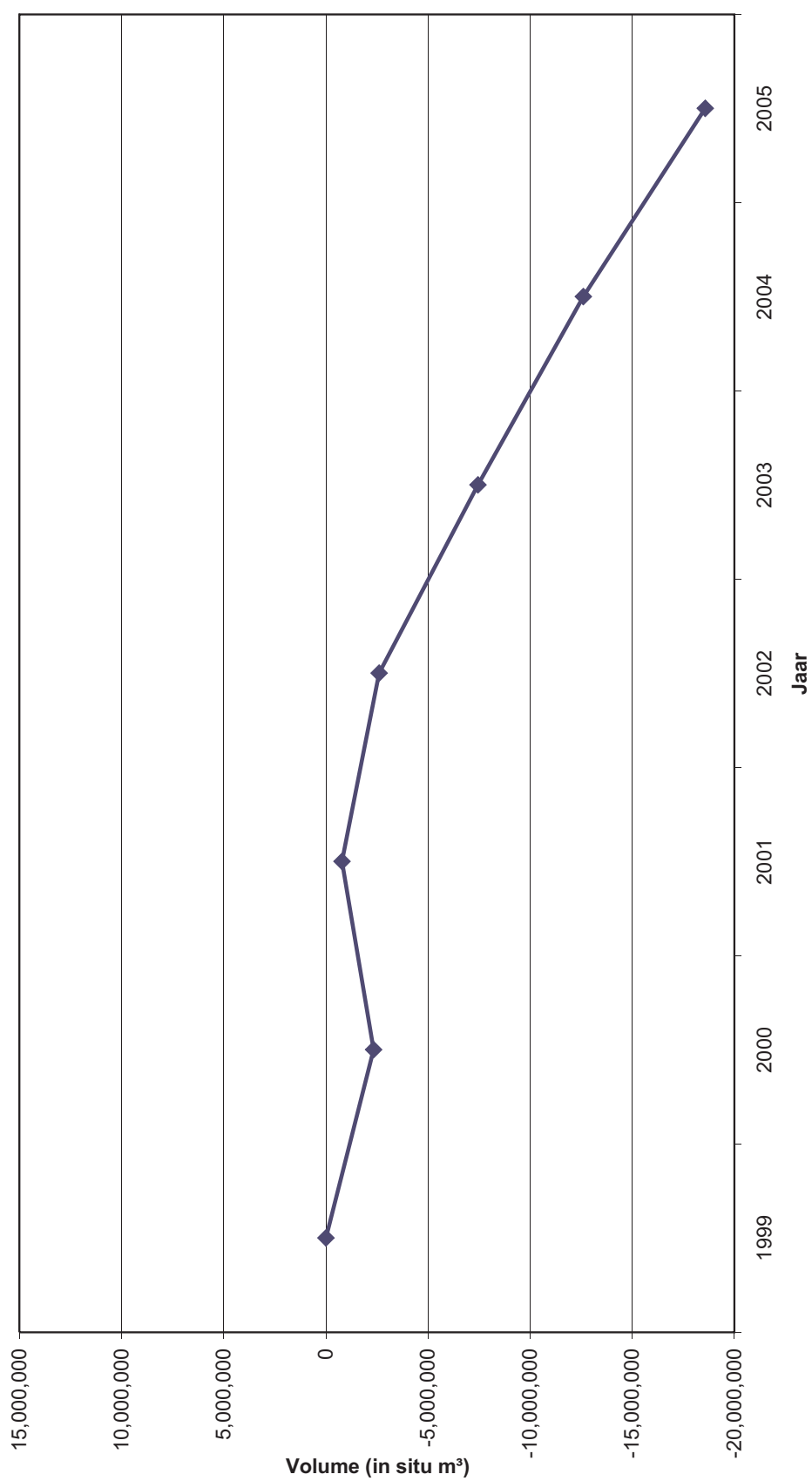
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 129



Sedimentuitwisseling tussen Westerschelde en monding

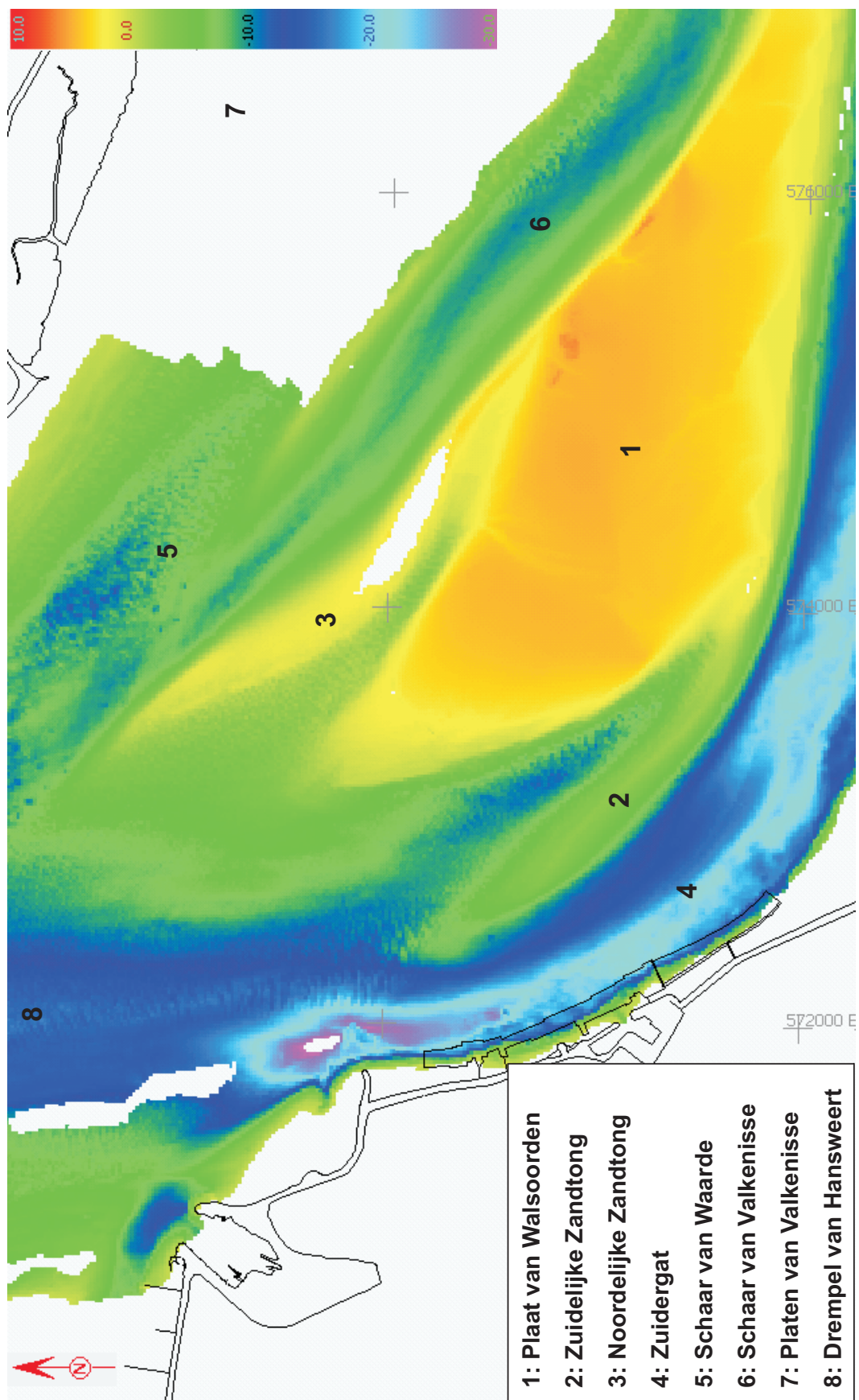
positief = naar opwaarts
negatief = naar afwaarts



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 130



Naamgeving omgeving Walsoorden

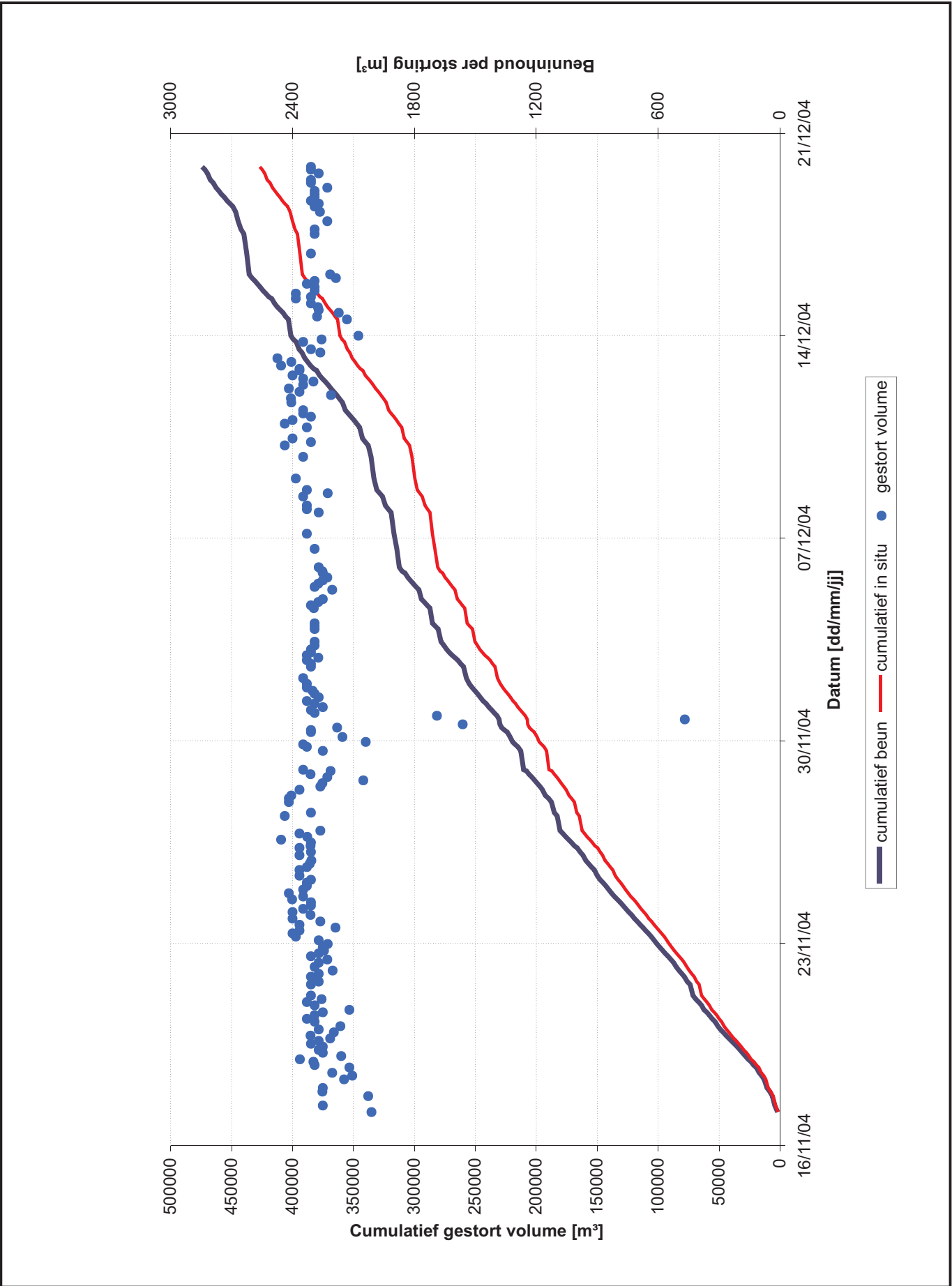
Verticale schaal: m GLLWS



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
 Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

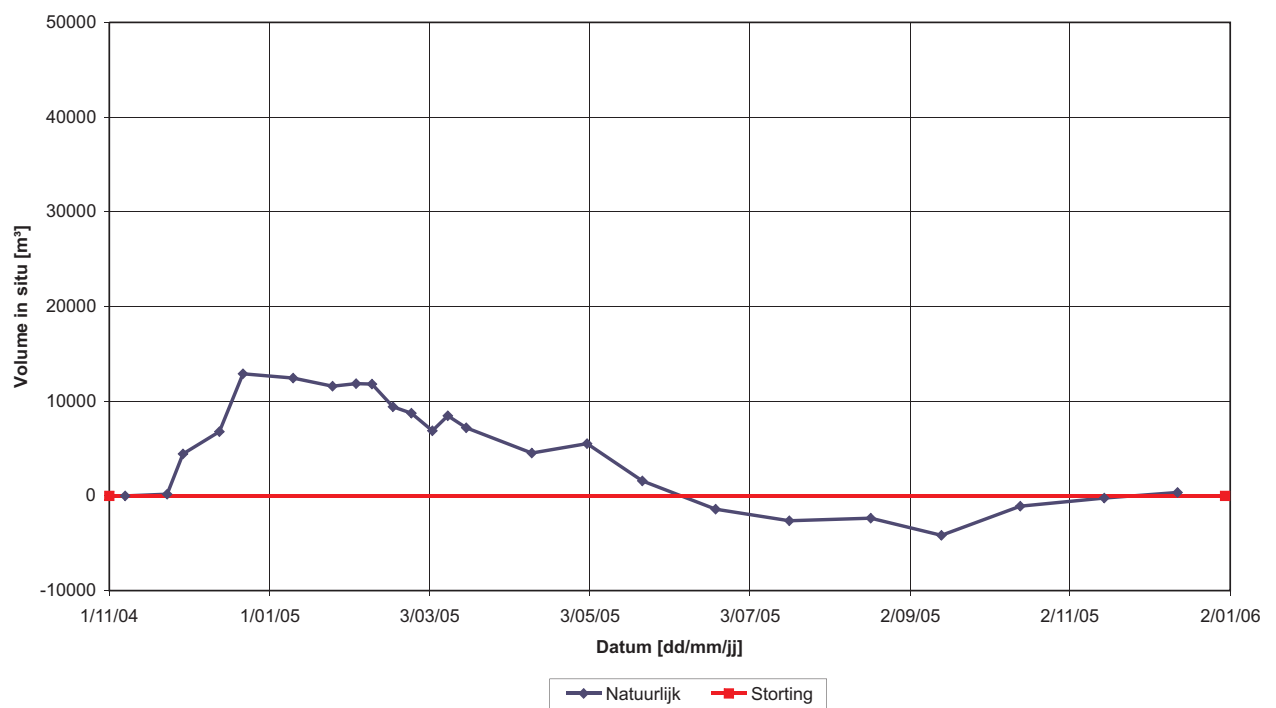
Figuur 131



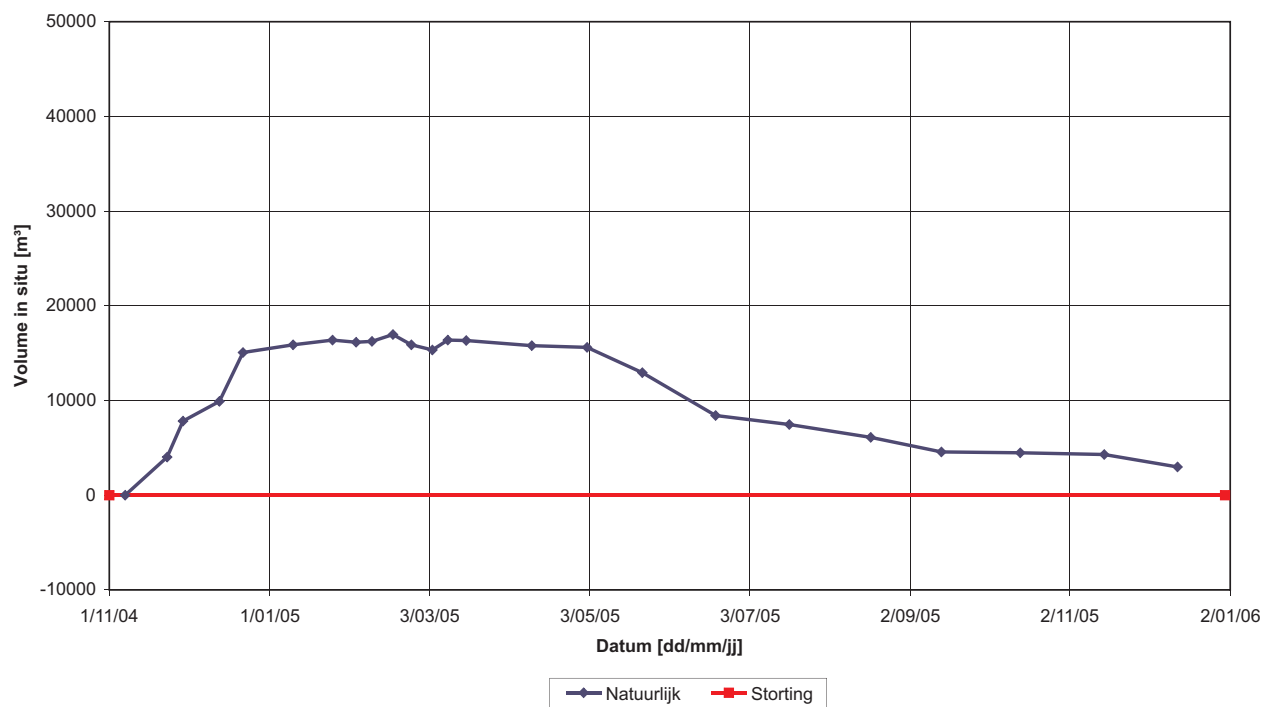
Evolutie stortvolumes stortproef Walsoorden



Volumeberekening A2



Volumeberekening A3



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

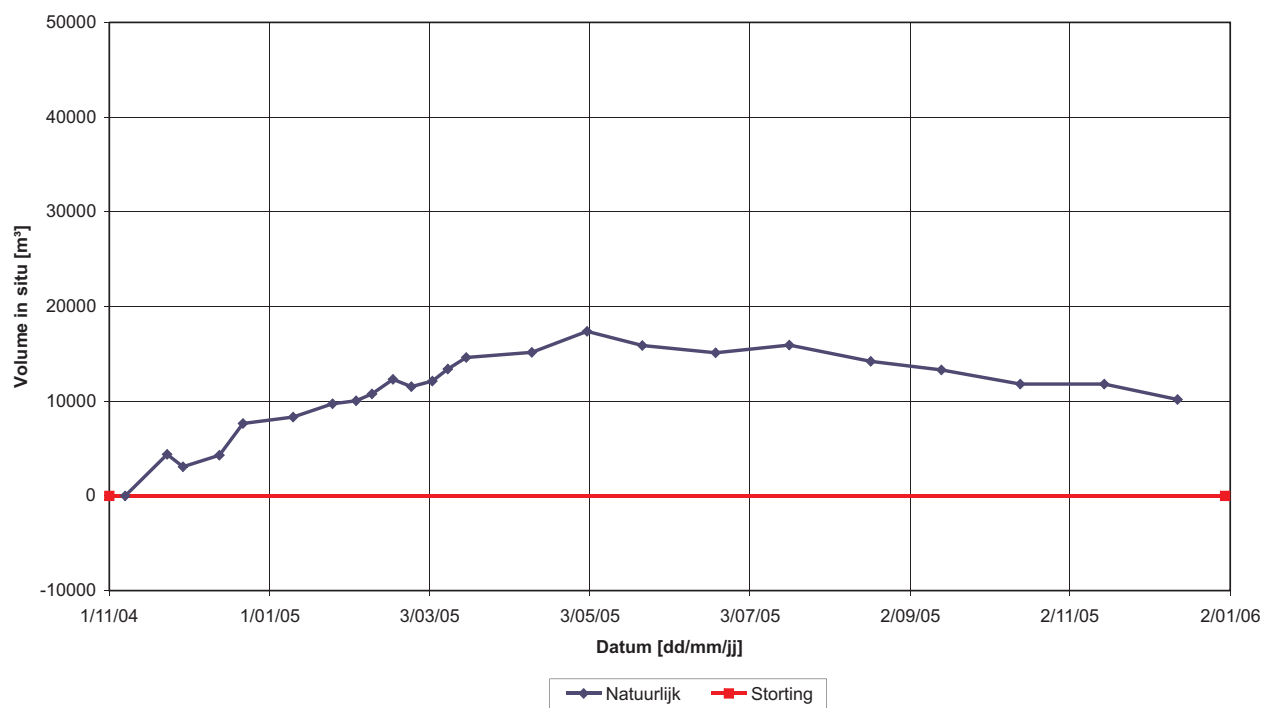


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

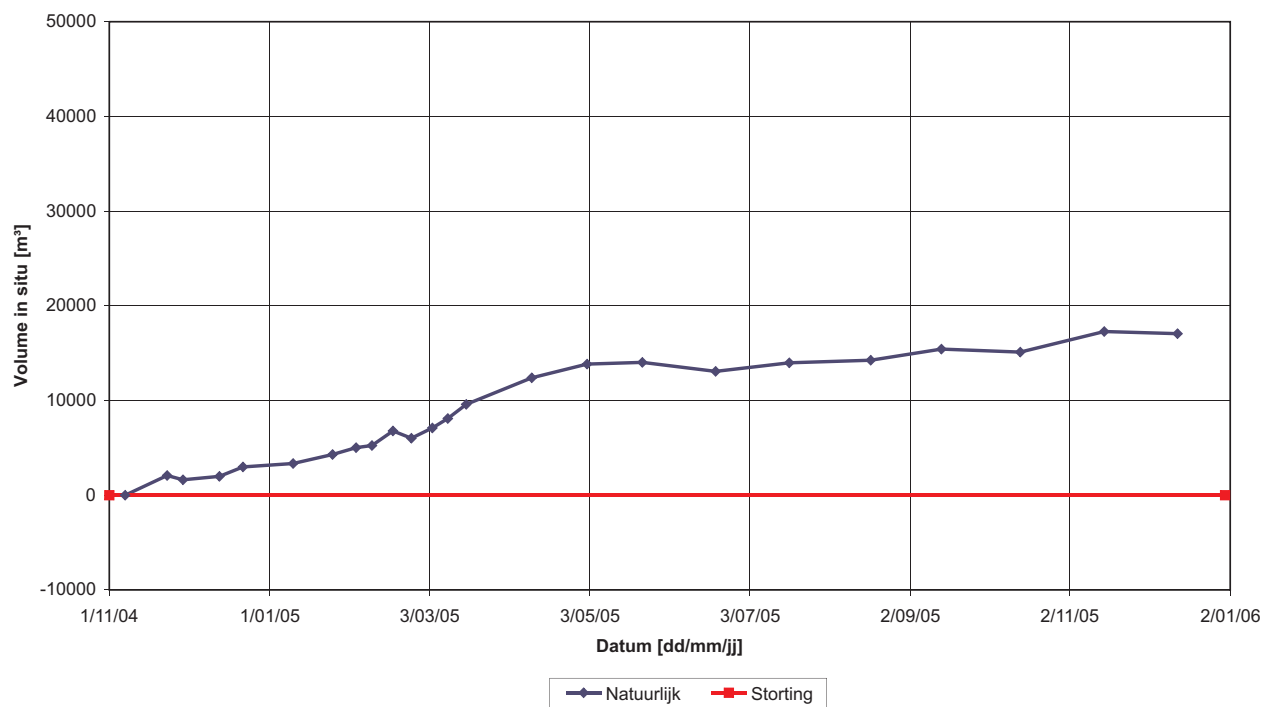
M 791/02

Figuur 133

Volumeberekening A4



Volumeberekening A5



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

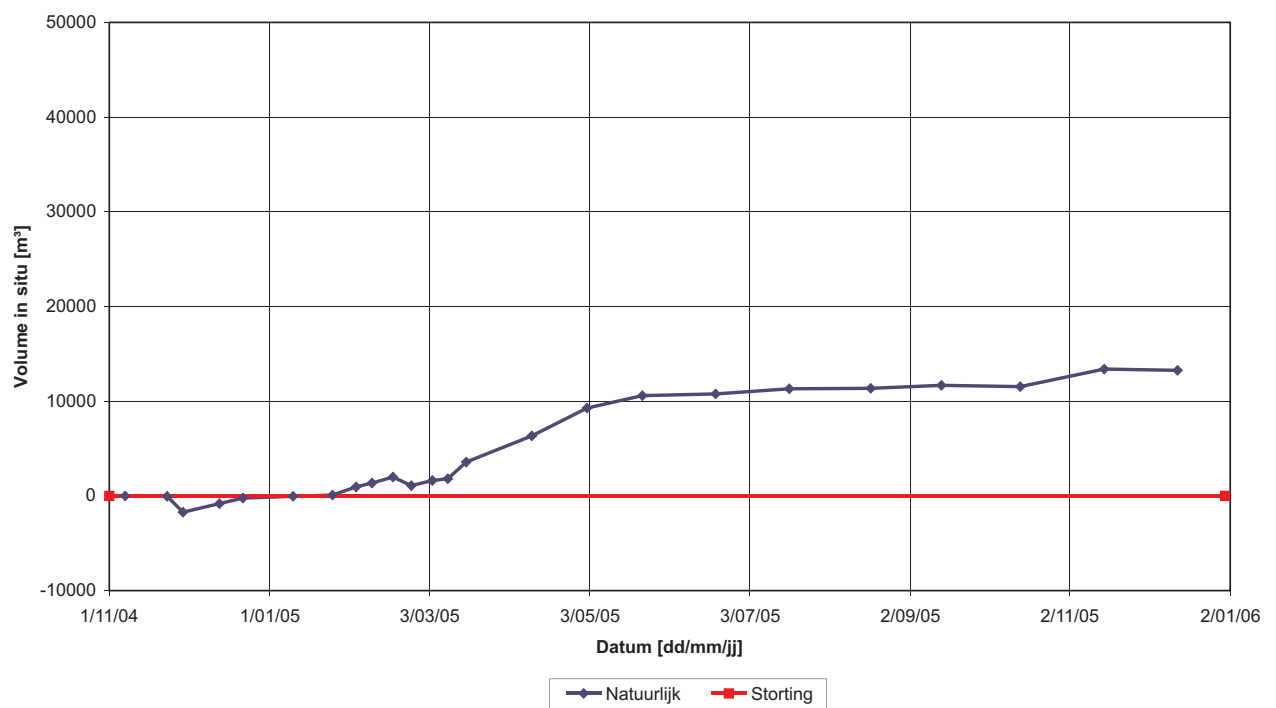


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

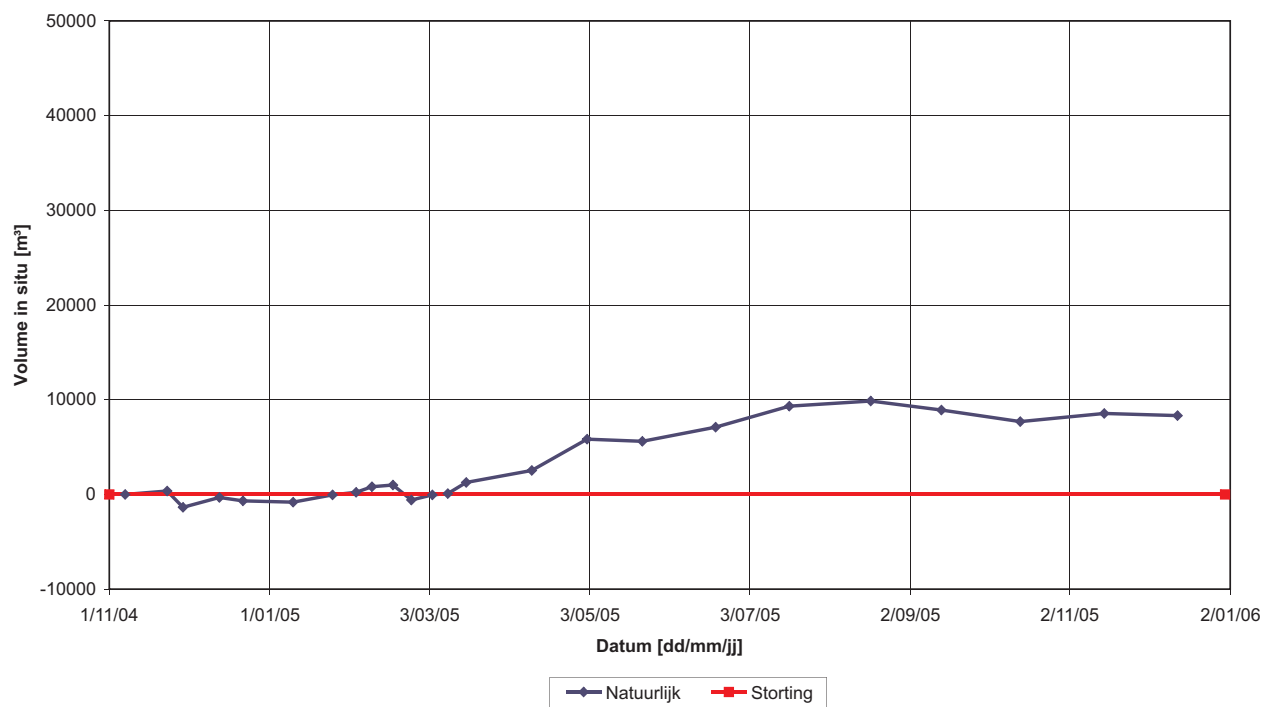
M 791/02

Figuur 134

Volumeberekening A6



Volumeberekening A7



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

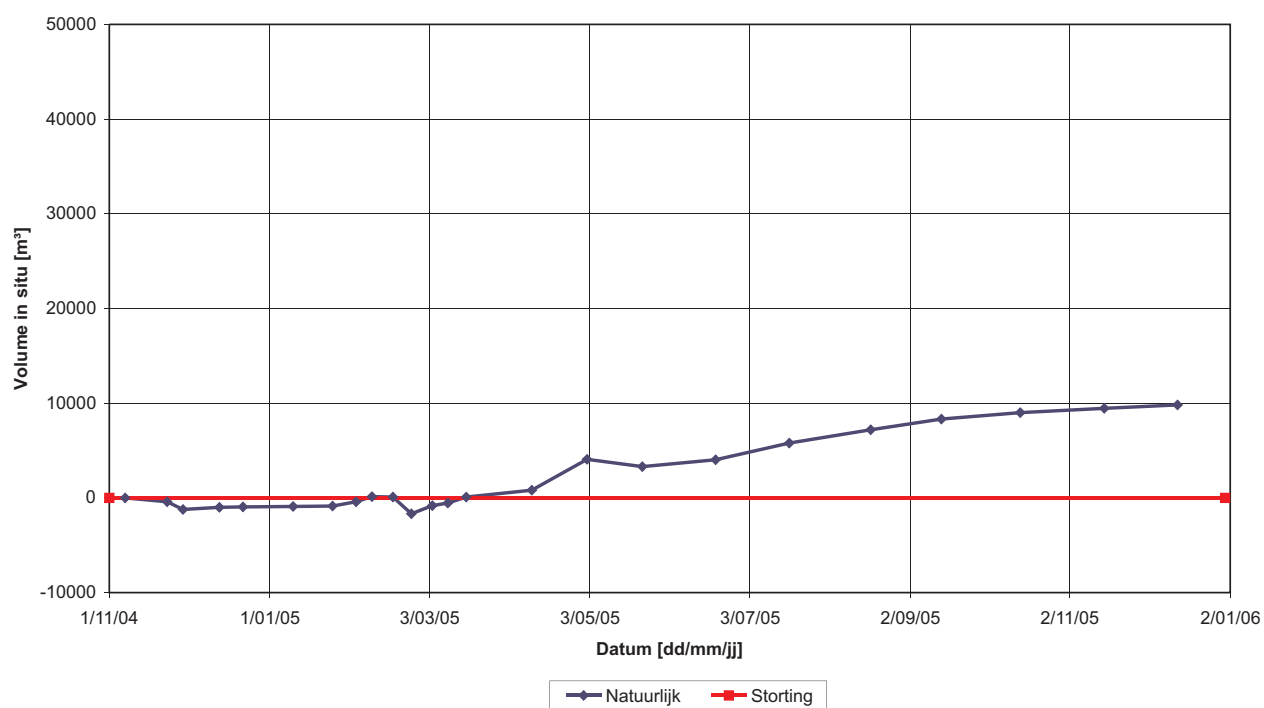


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

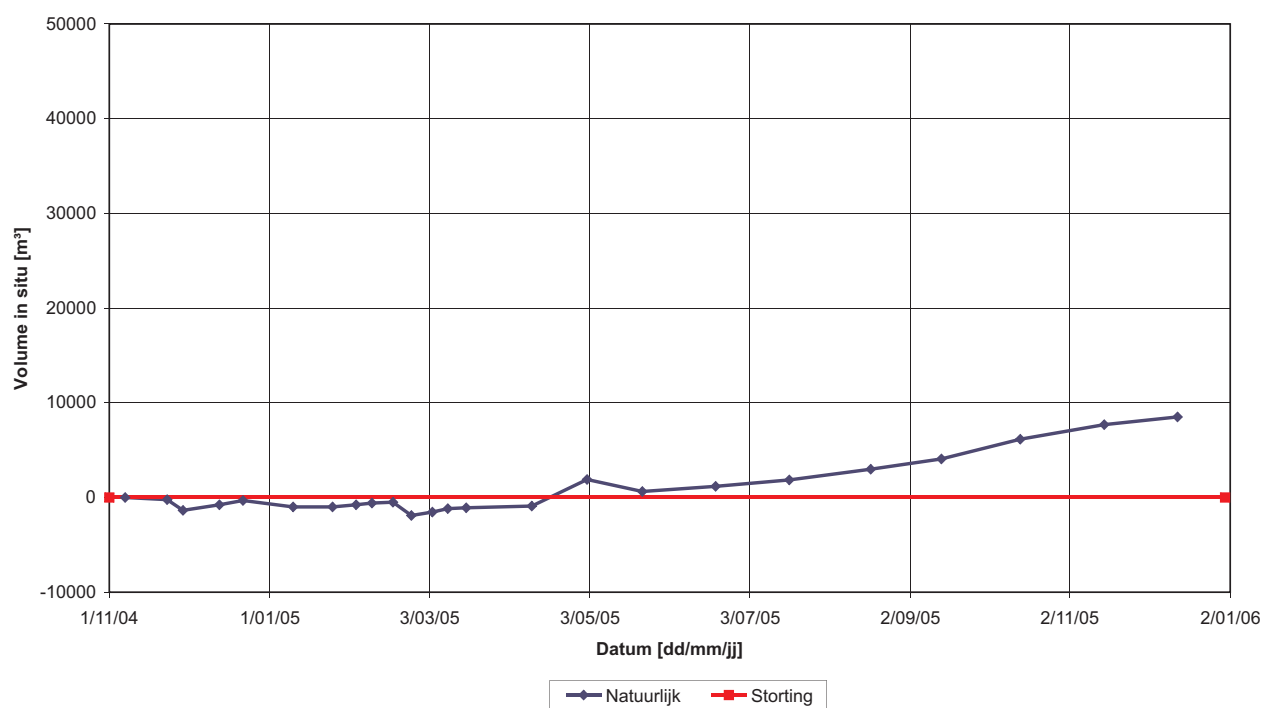
M 791/02

Figuur 135

Volumeberekening A8



Volumeberekening A9



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

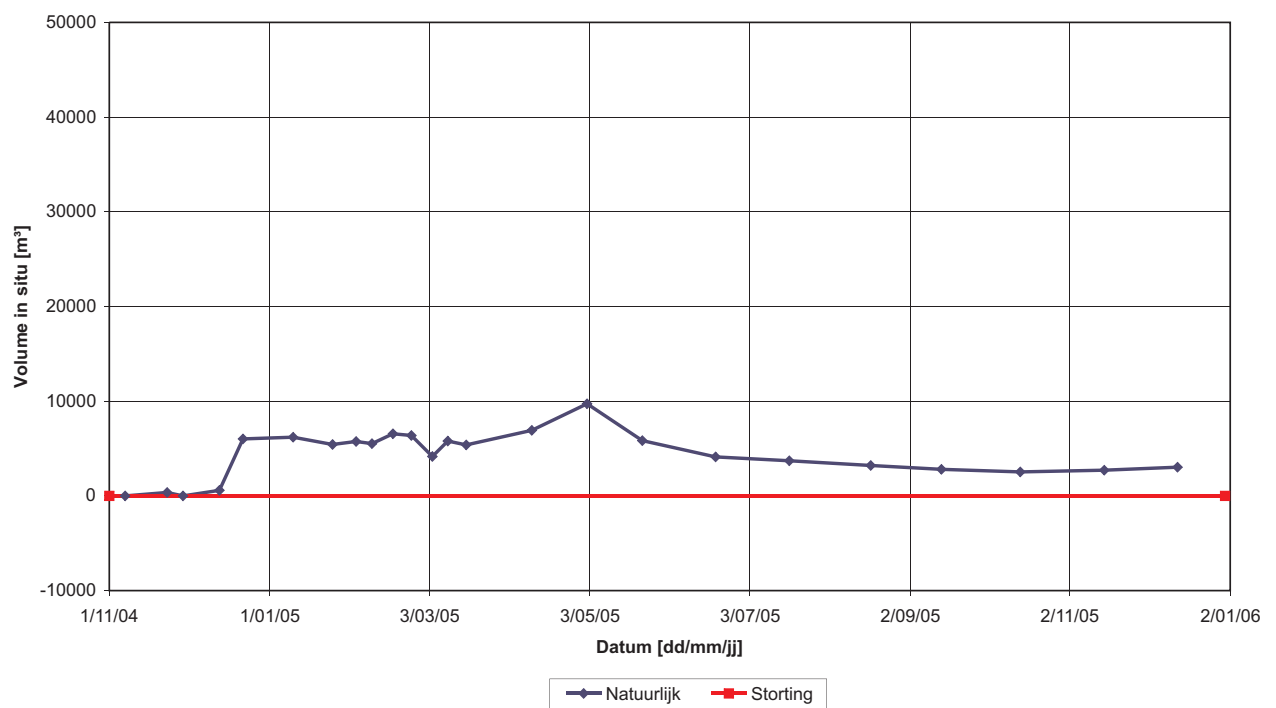


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

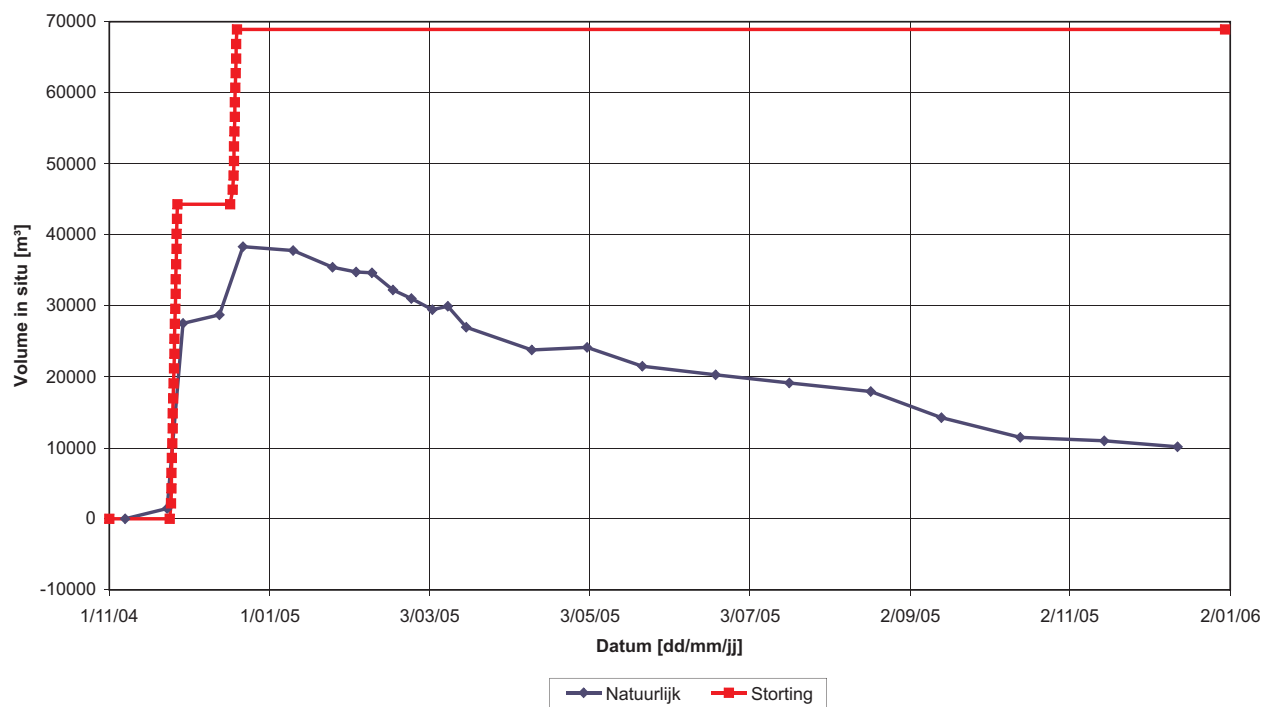
M 791/02

Figuur 136

Volumeberekening B2



Volumeberekening B3



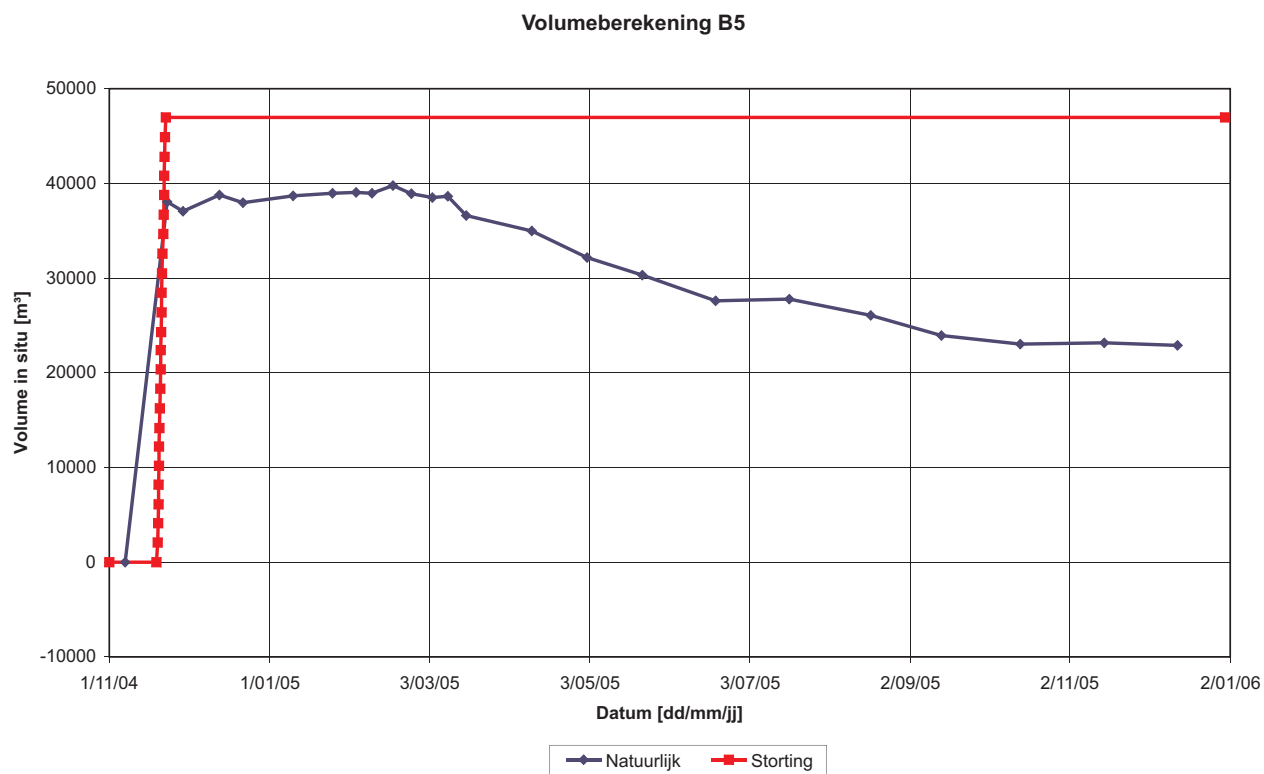
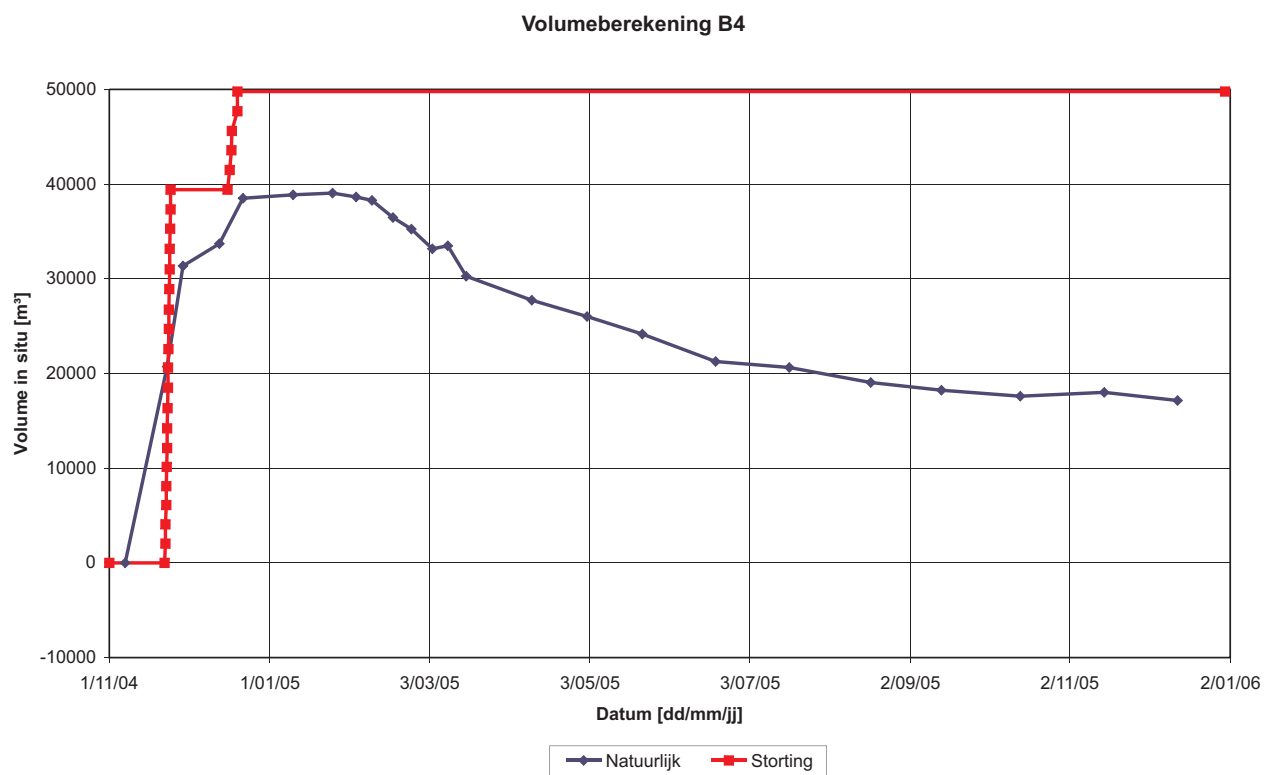
Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 137



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

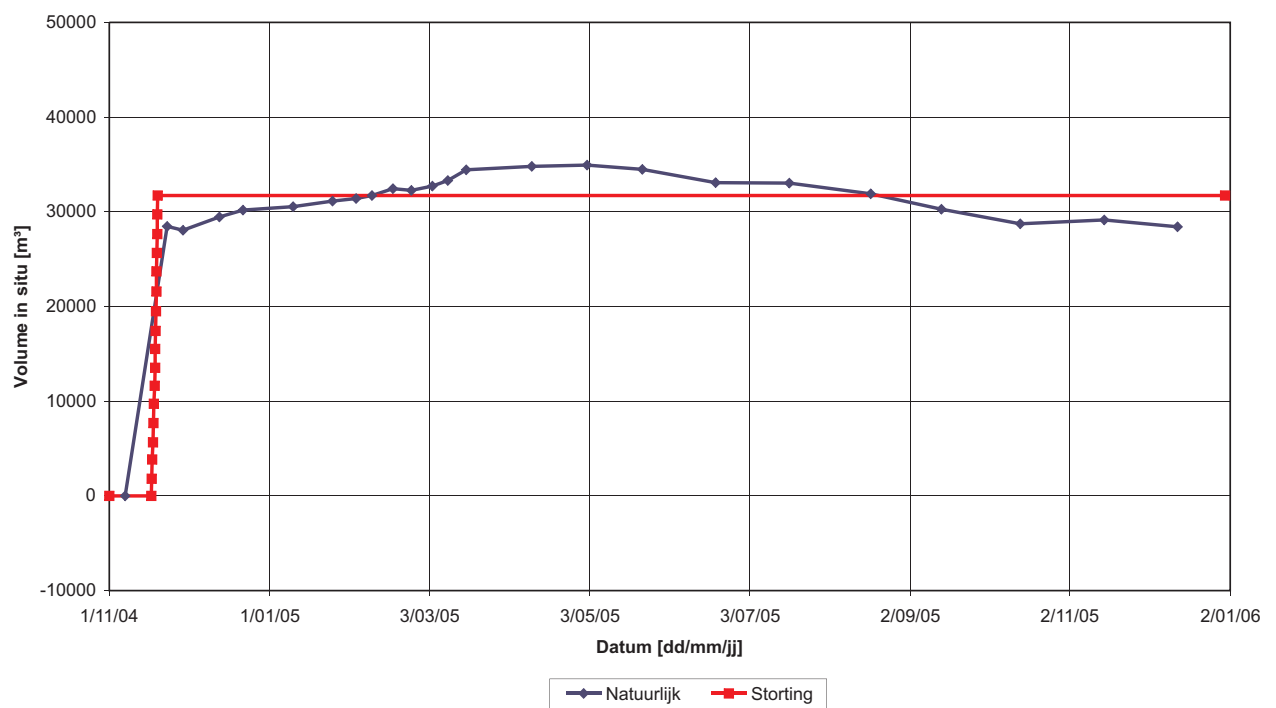


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

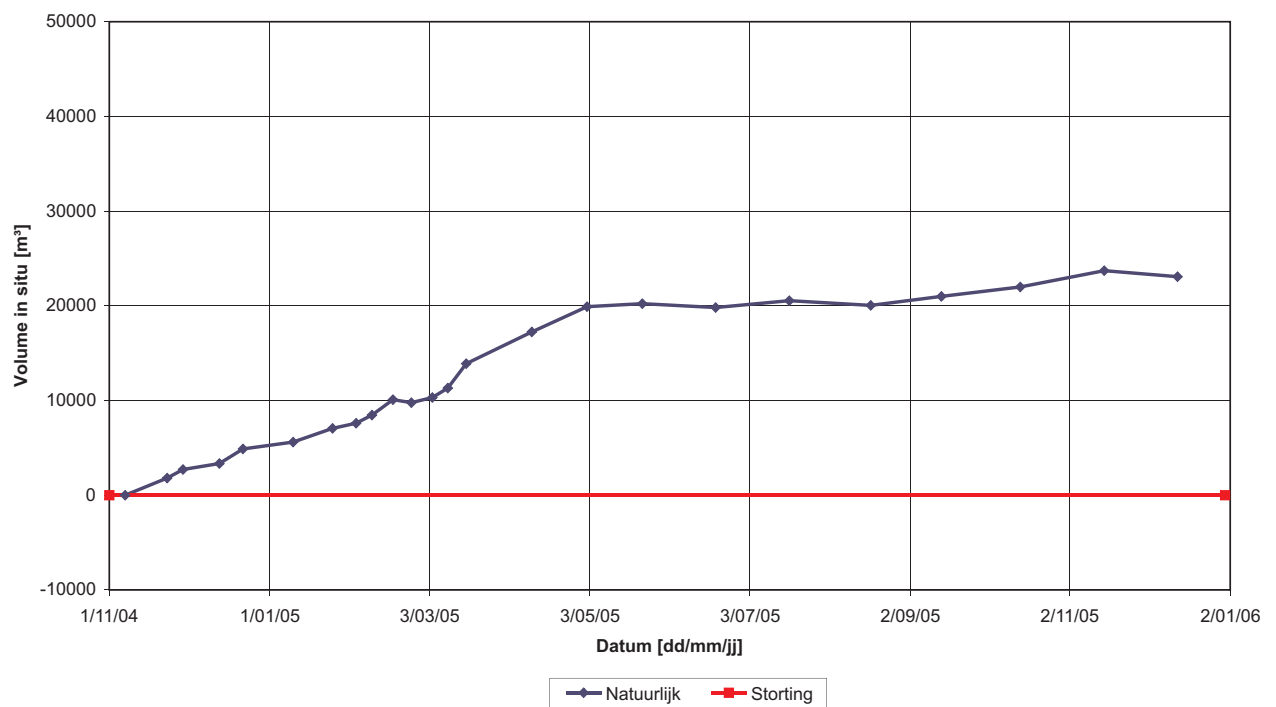
M 791/02

Figuur 138

Volumeberekening B6



Volumeberekening B7



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

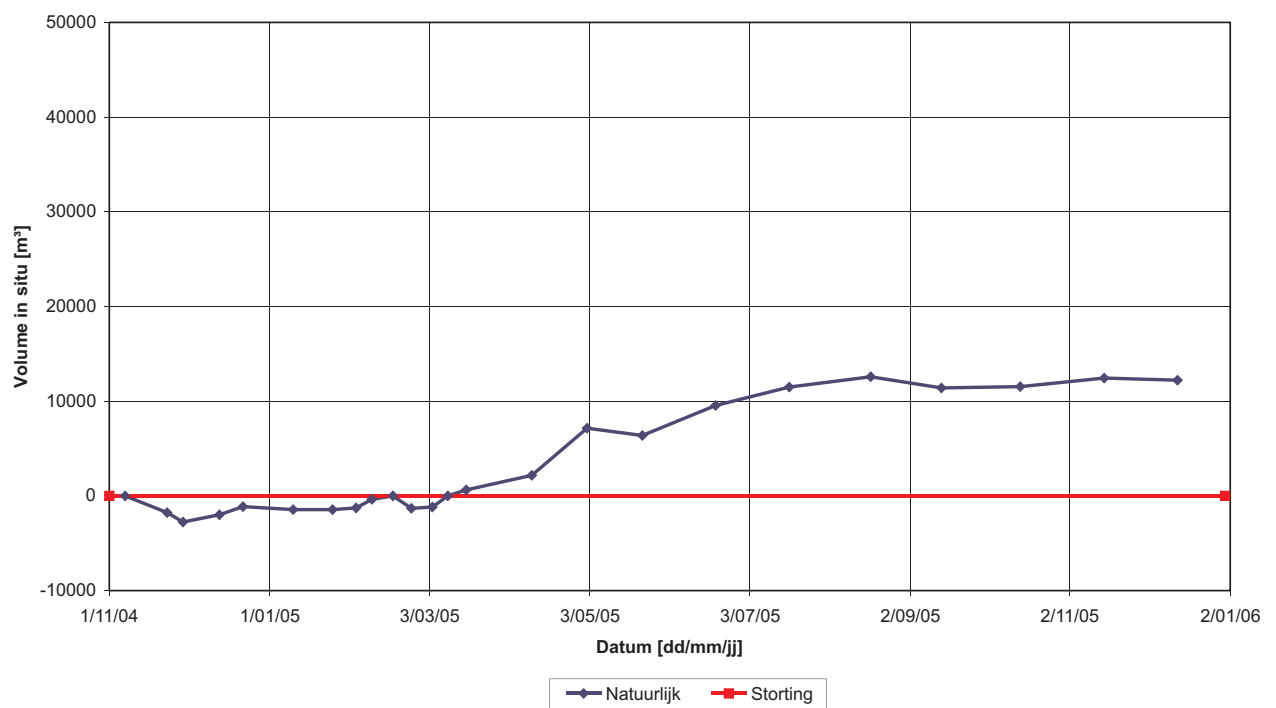


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

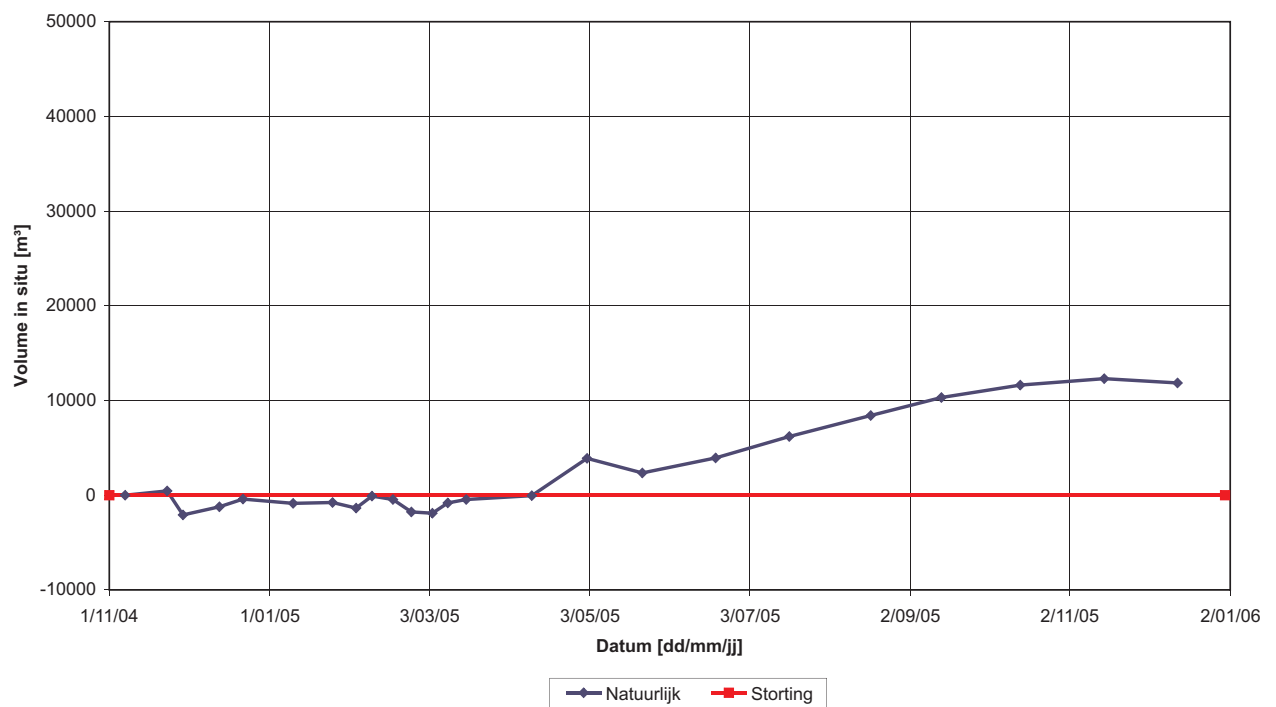
M 791/02

Figuur 139

Volumeberekening B8



Volumeberekening B9



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

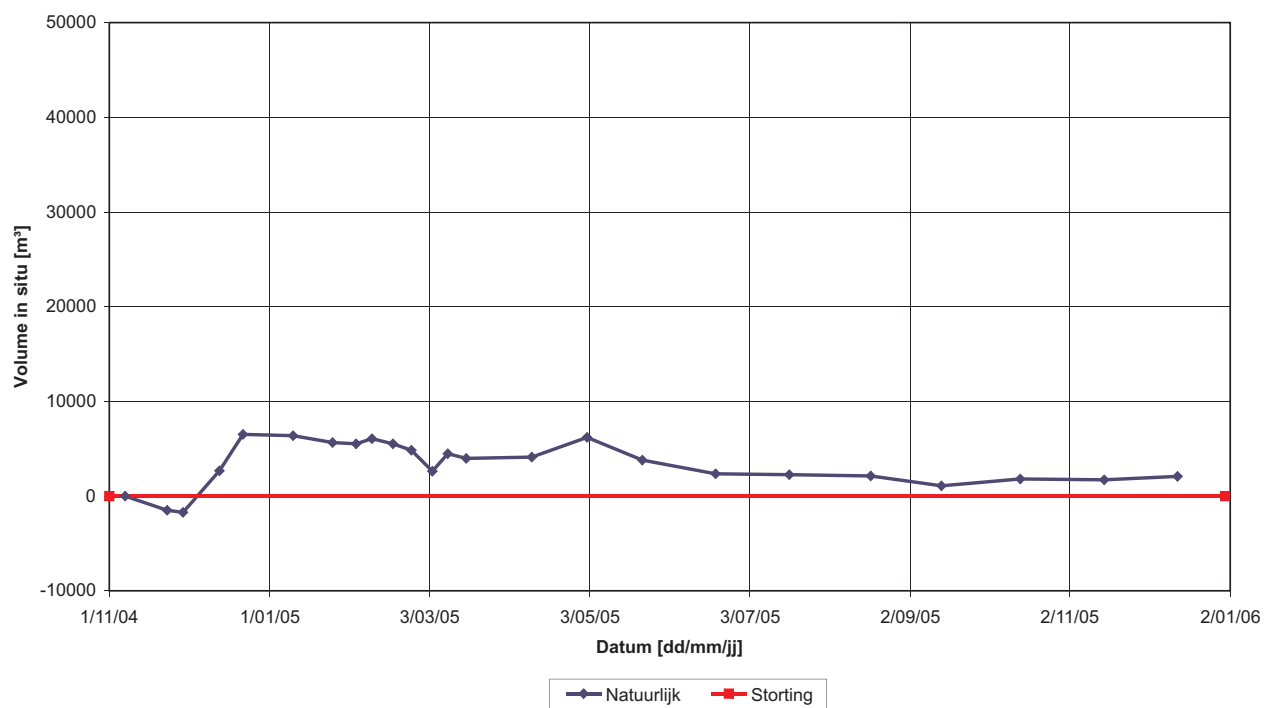


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

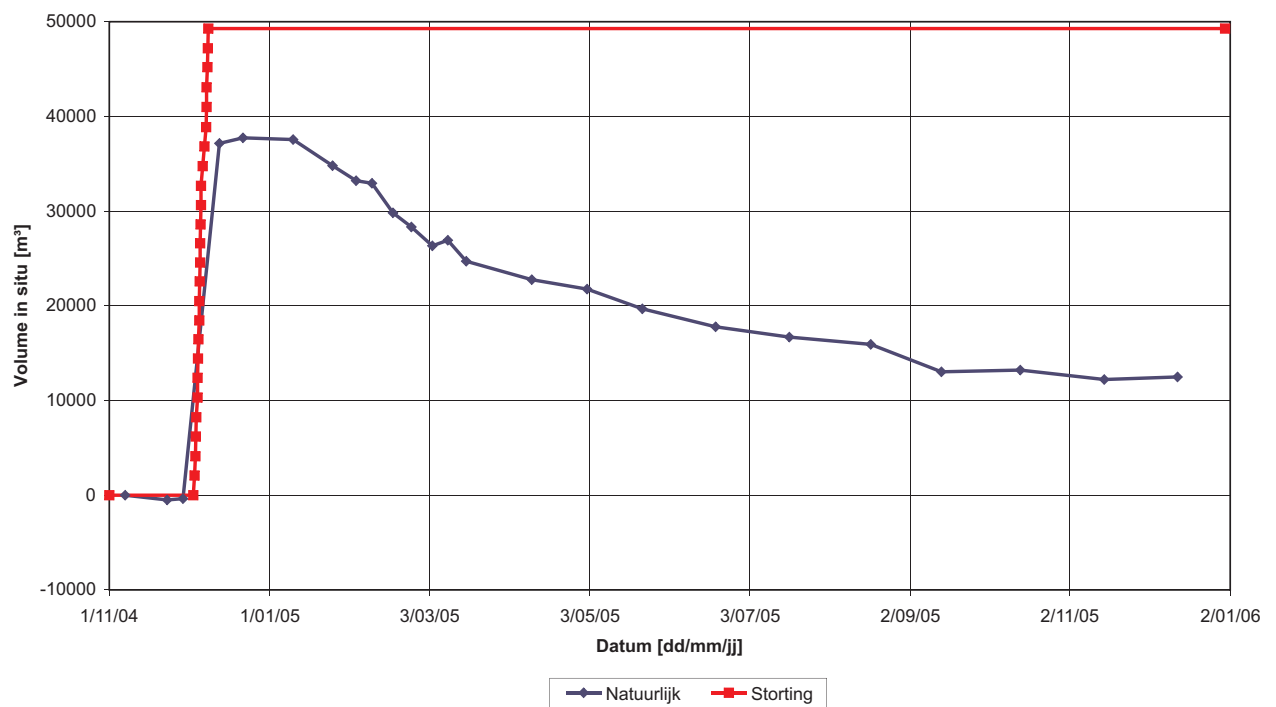
M 791/02

Figuur 140

Volumeberekening C2



Volumeberekening C3



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

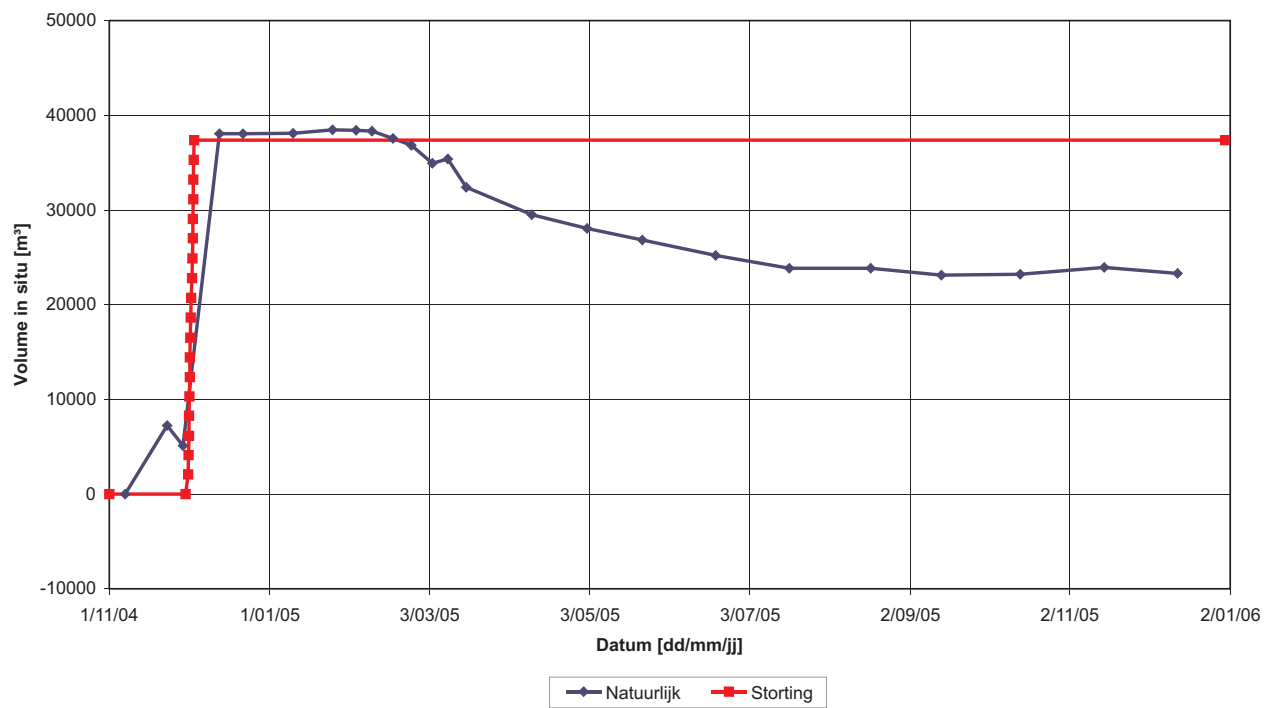


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

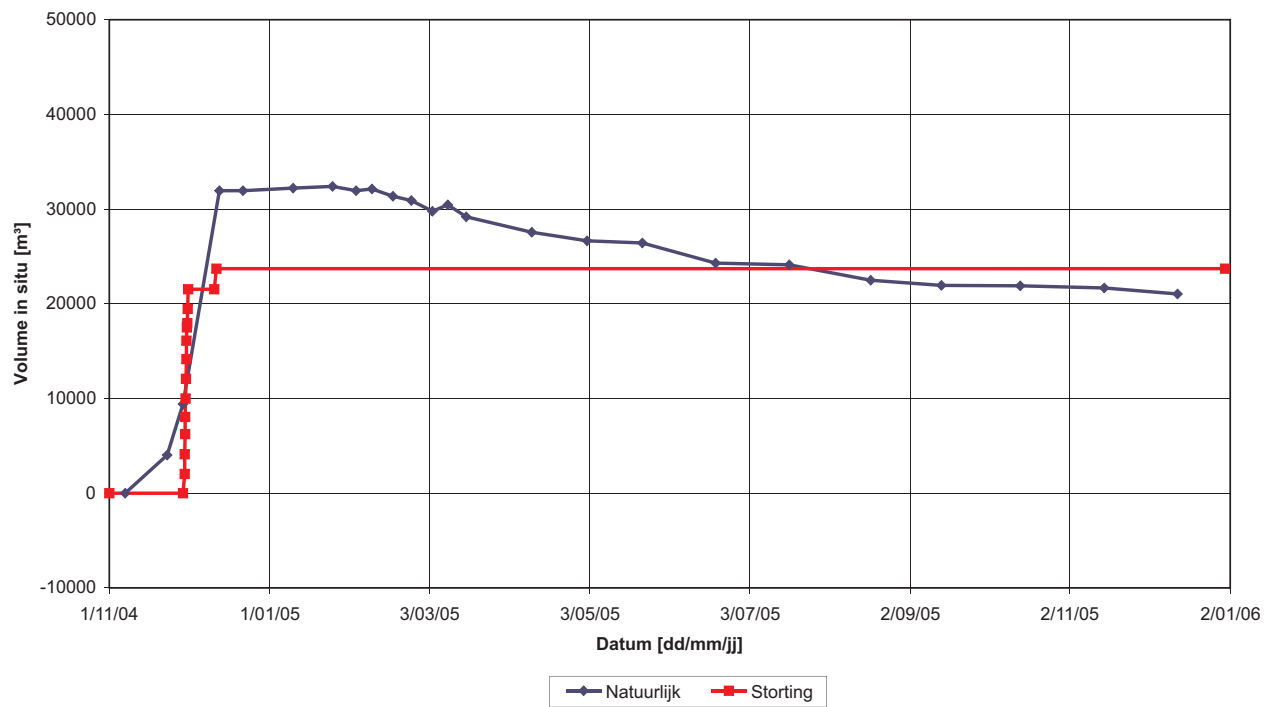
M 791/02

Figuur 141

Volumeberekening C4



Volumeberekening C5



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

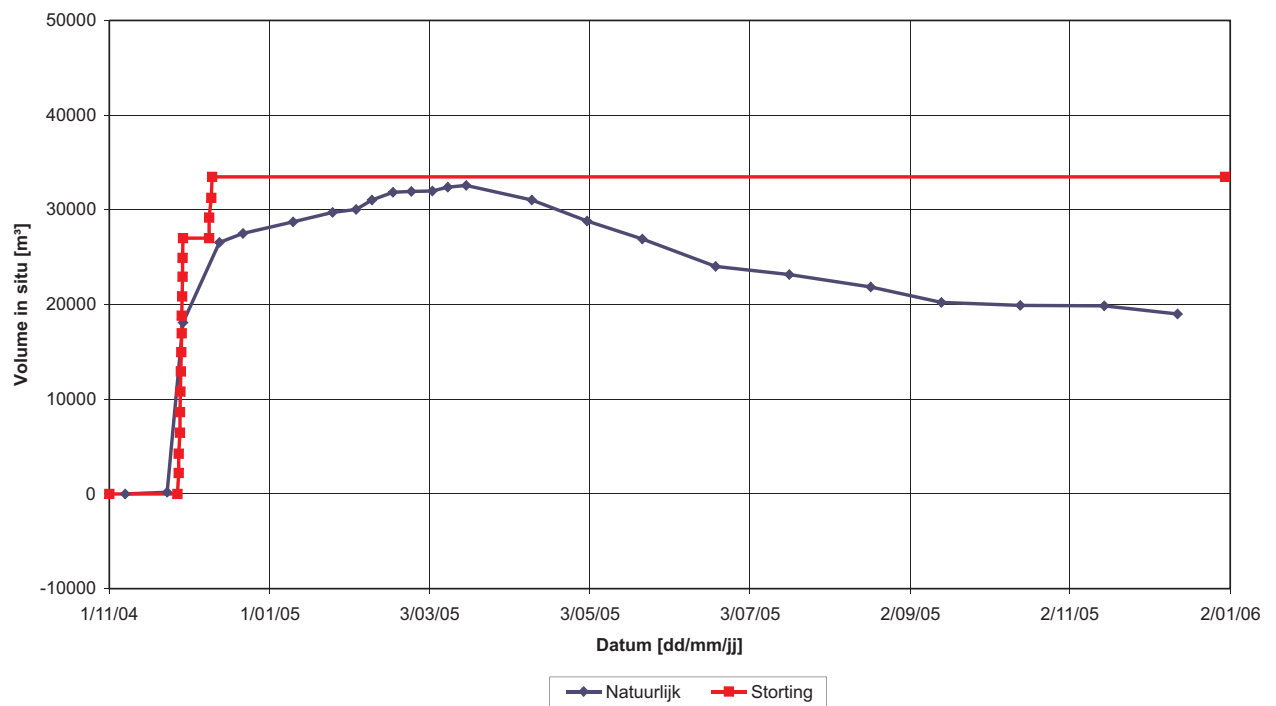


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

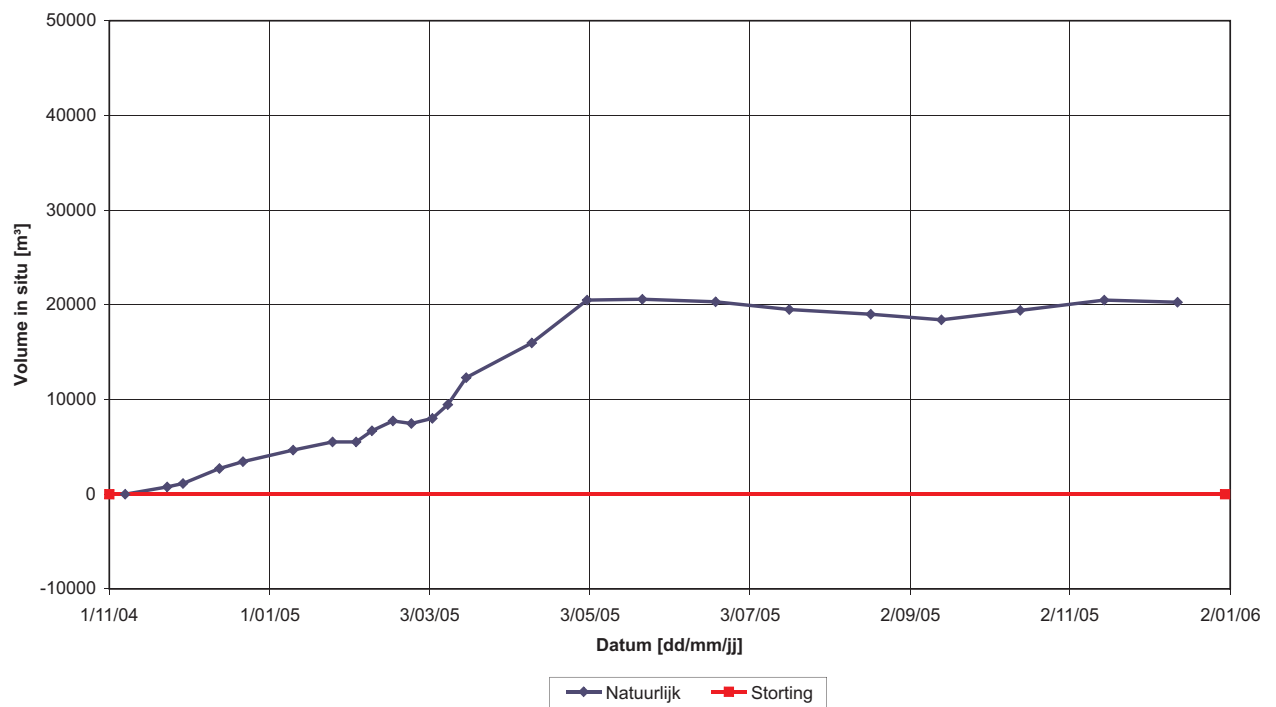
M 791/02

Figuur 142

Volumeberekening C6



Volumeberekening C7



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

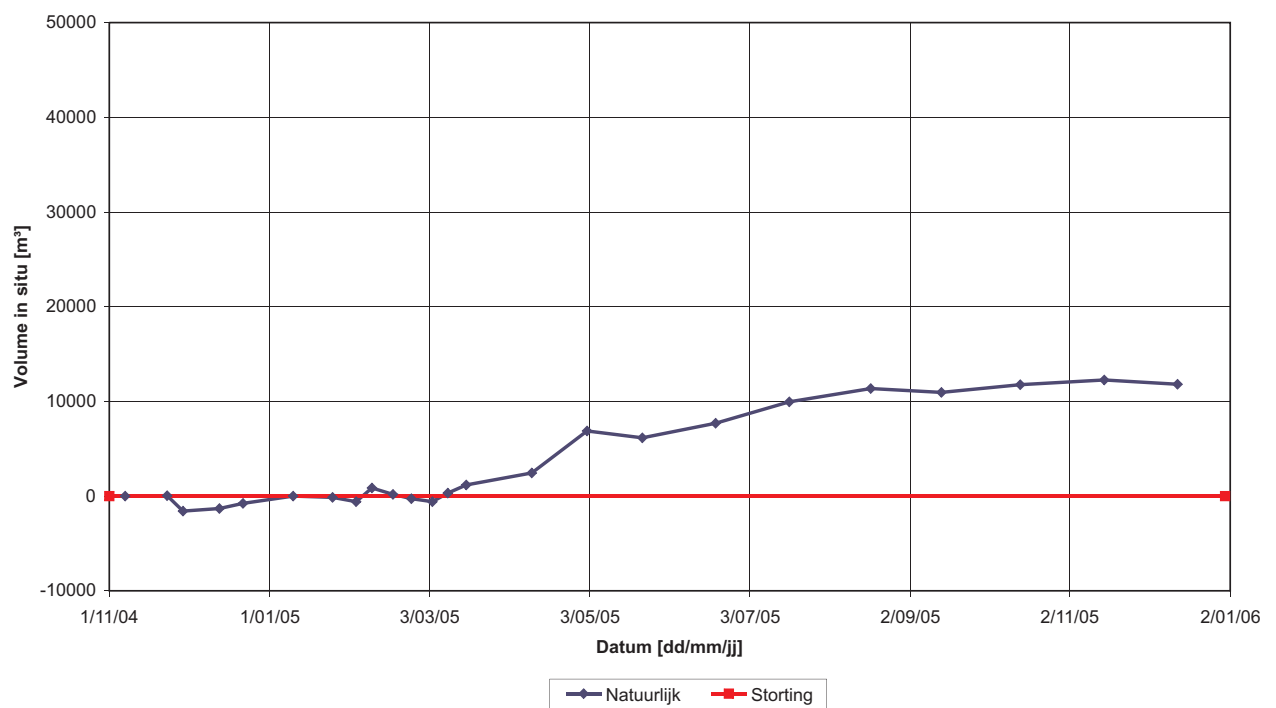


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

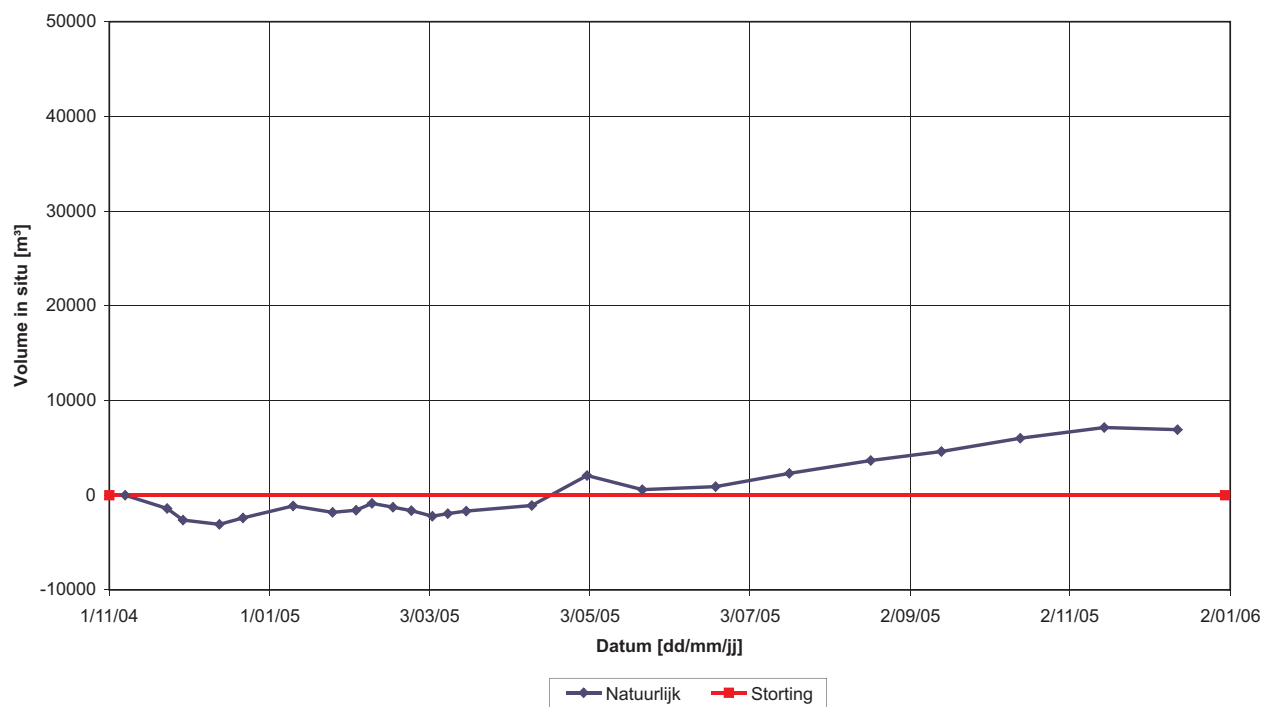
M 791/02

Figuur 143

Volumeberekening C8



Volumeberekening C9



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

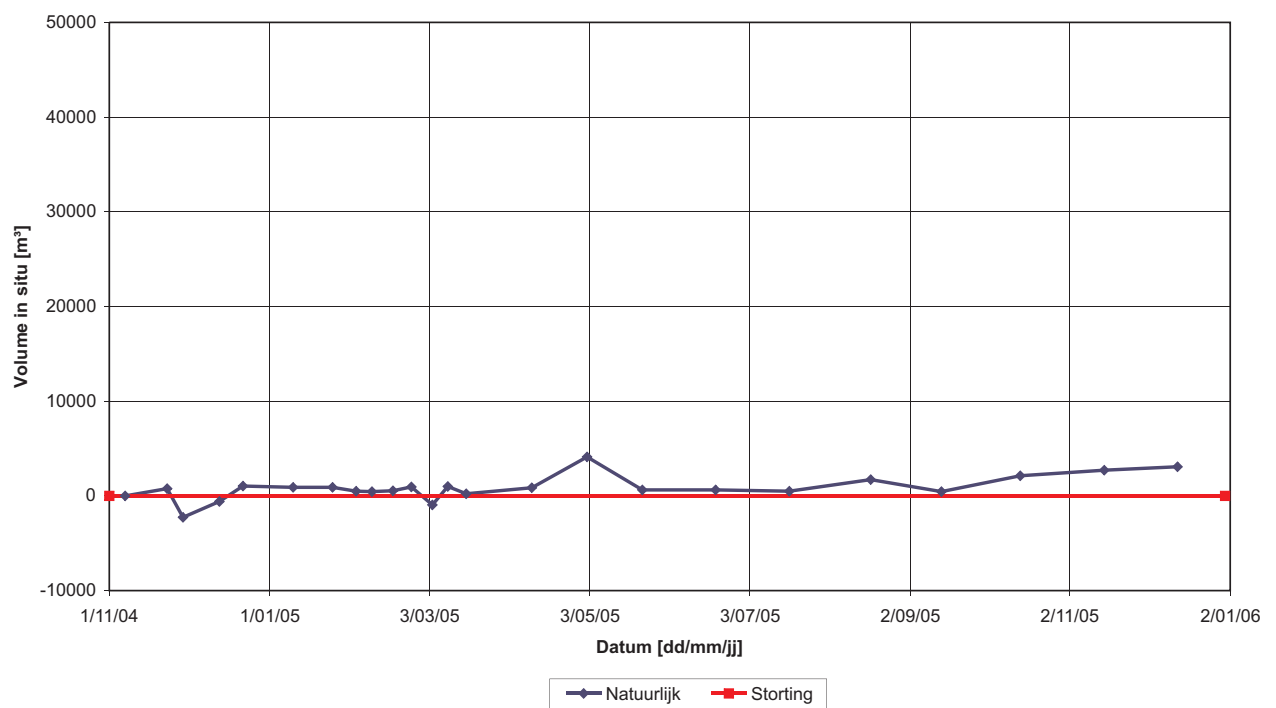


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

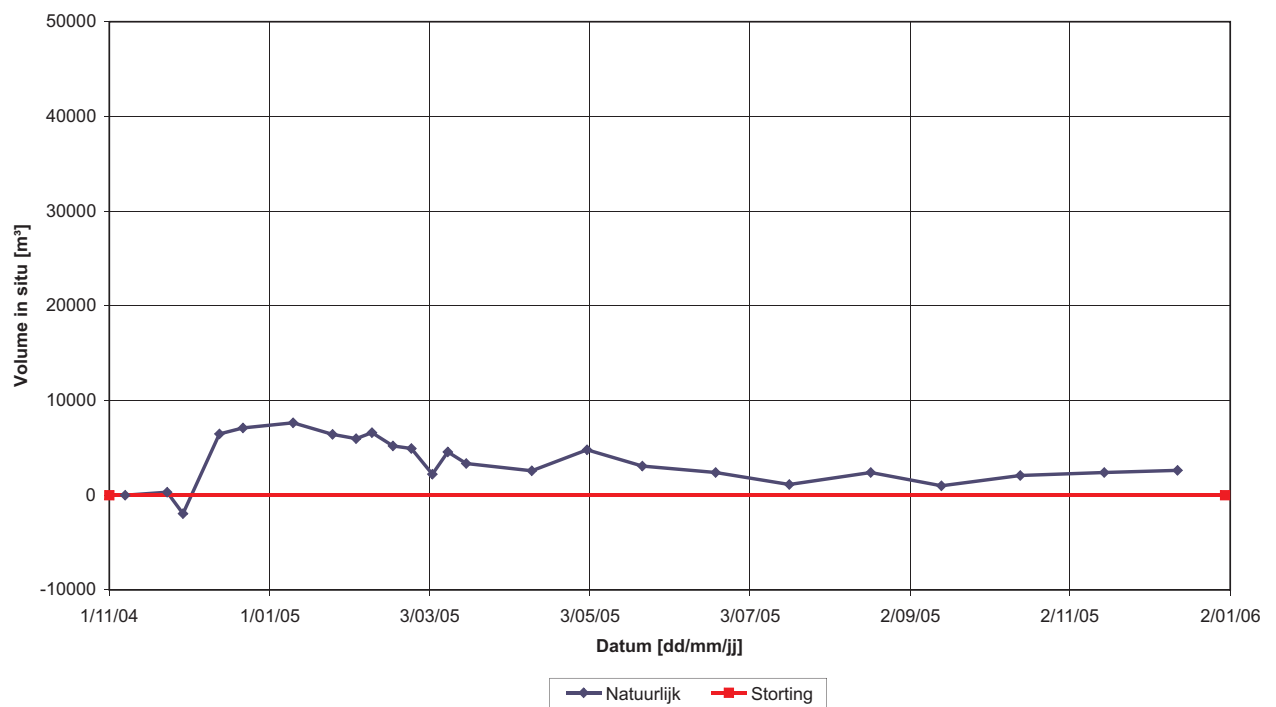
M 791/02

Figuur 144

Volumeberekening D2



Volumeberekening D3



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

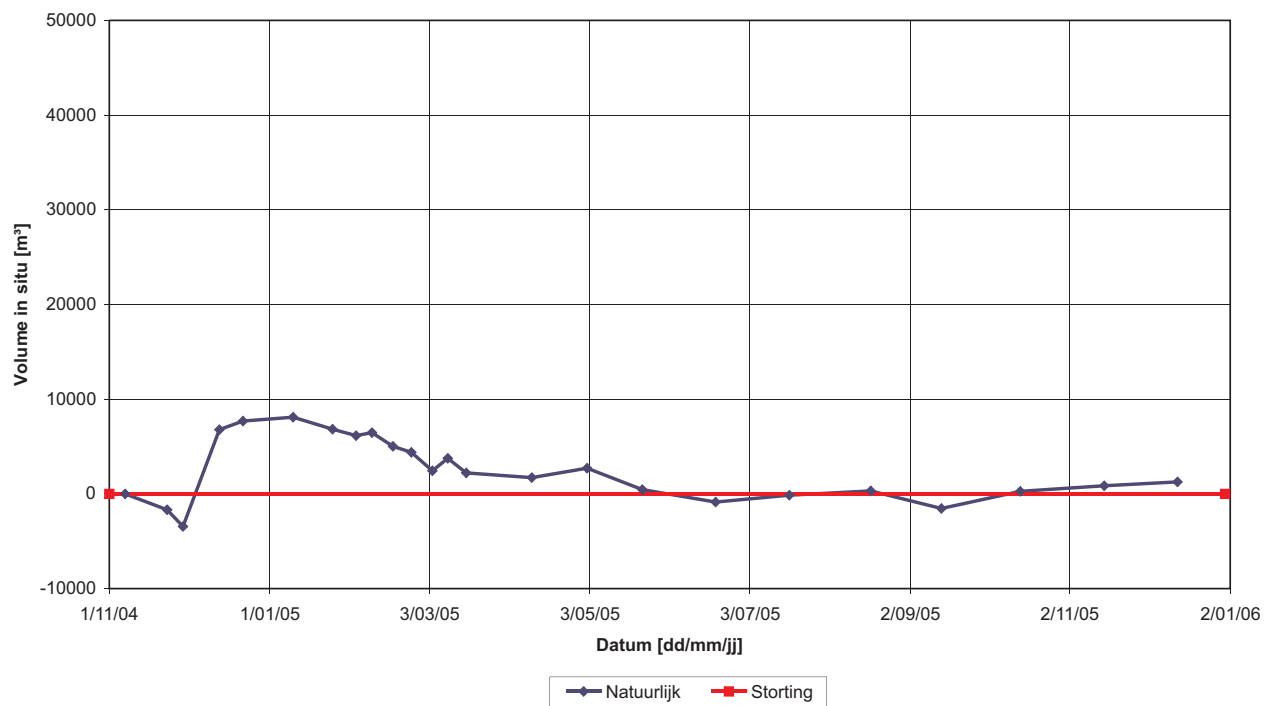


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

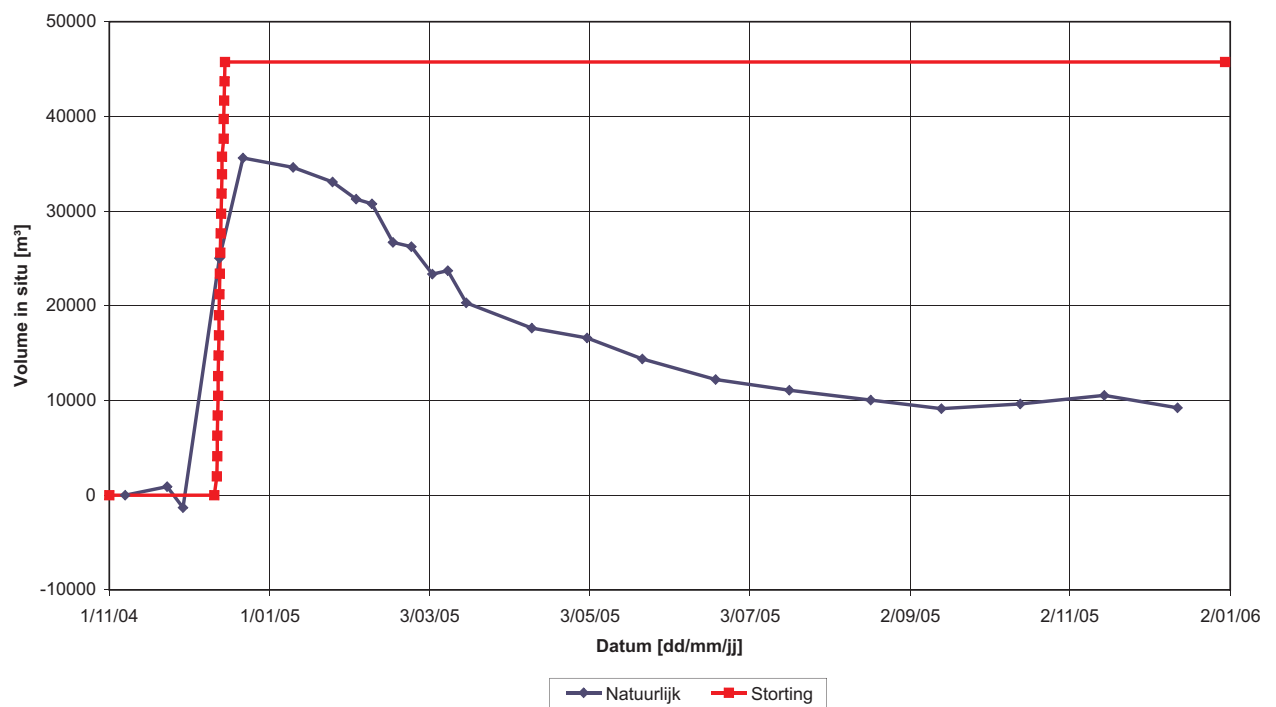
M 791/02

Figuur 145

Volumeberekening D4



Volumeberekening D5



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

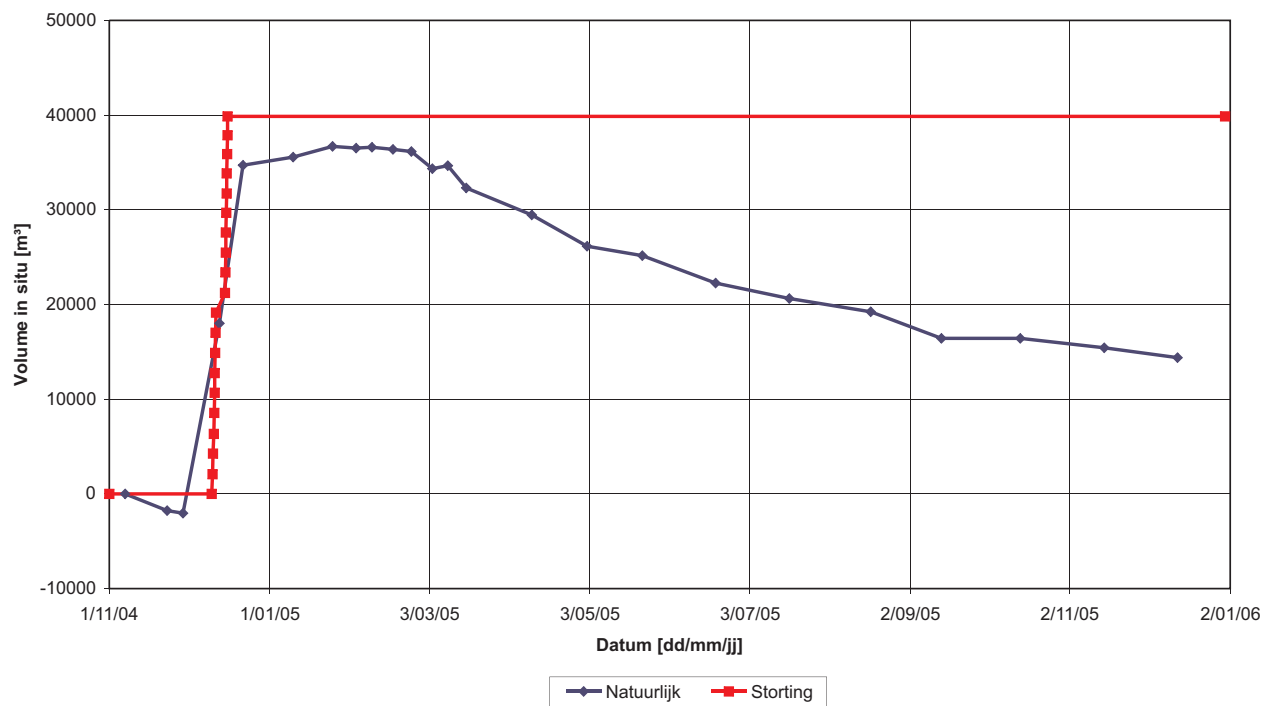


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

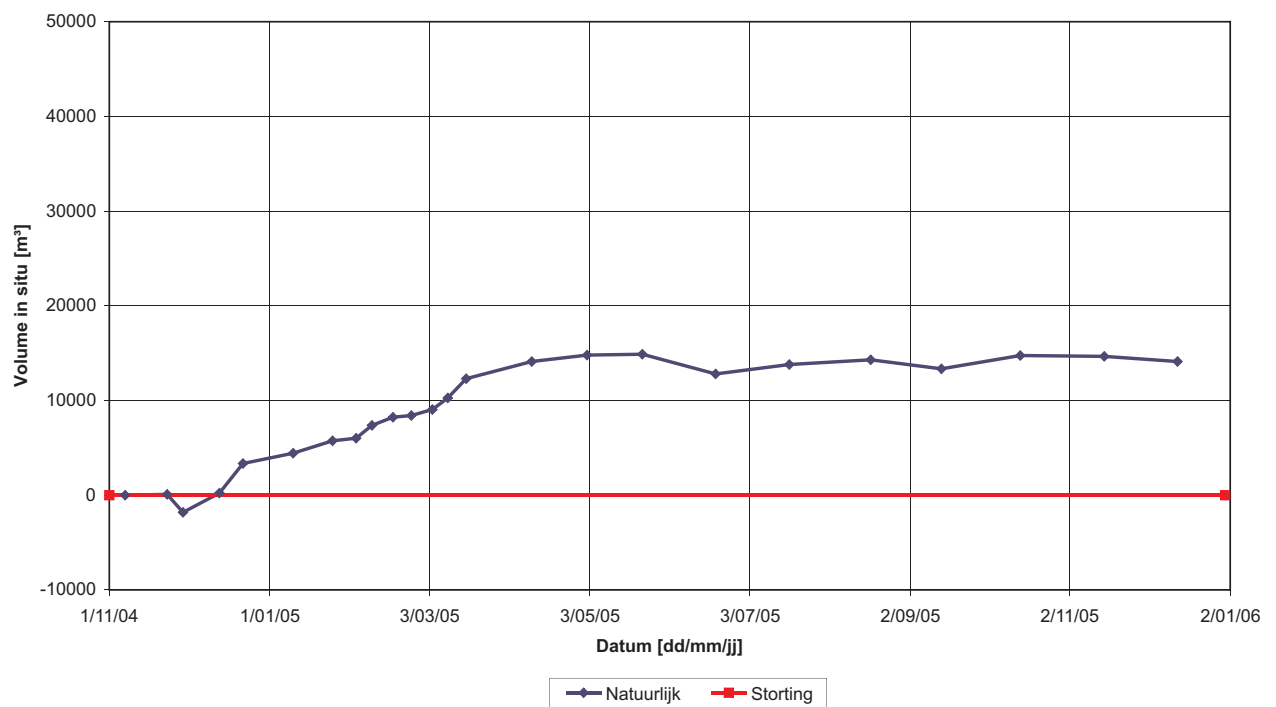
M 791/02

Figuur 146

Volumeberekening D6



Volumeberekening D7



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

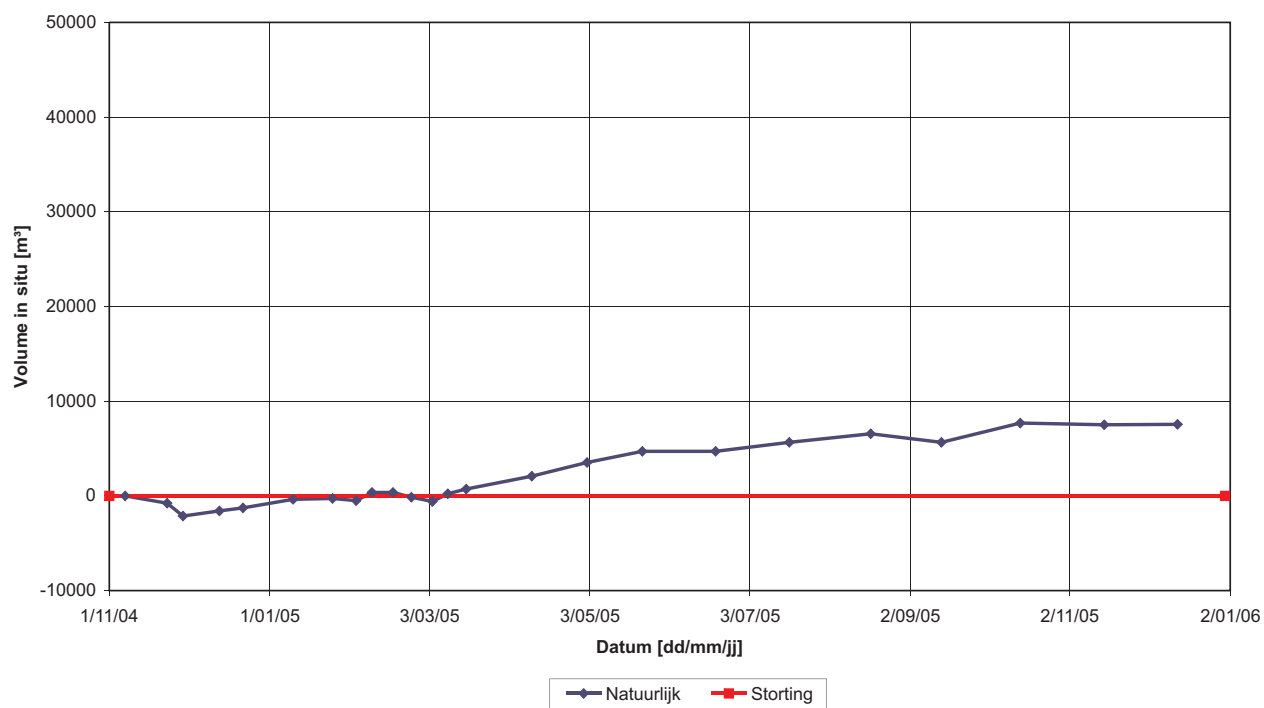


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

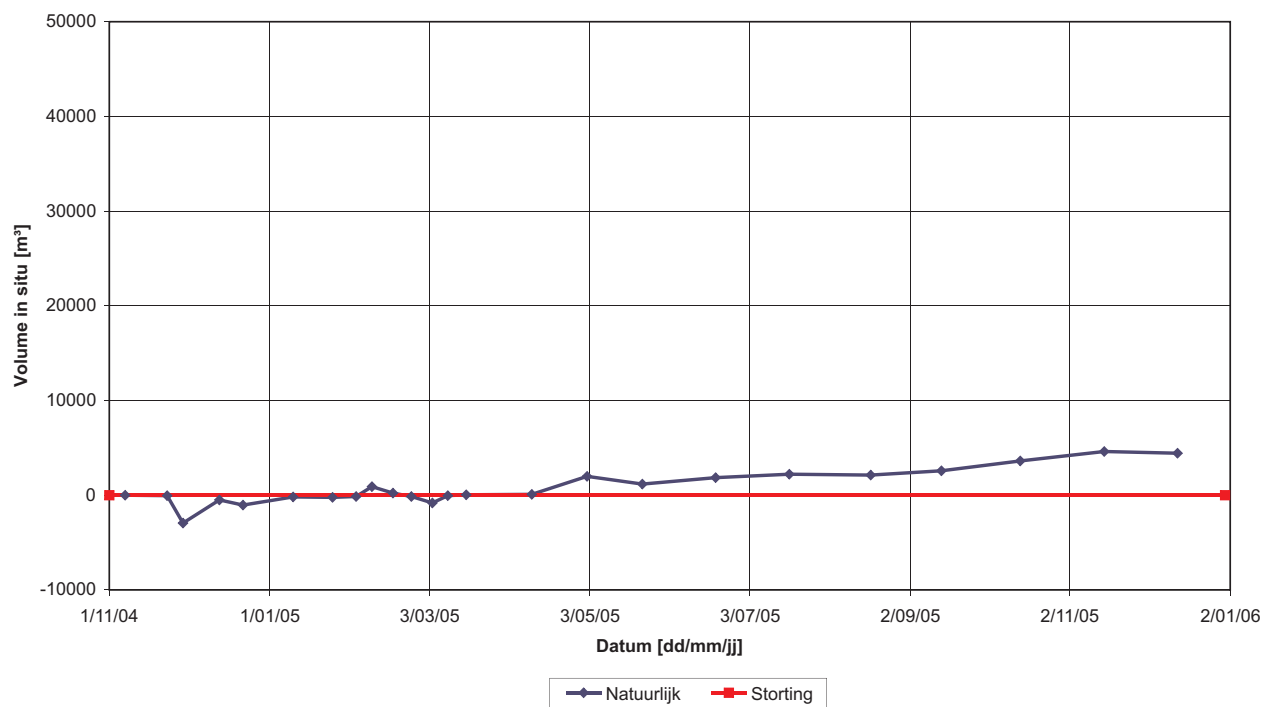
M 791/02

Figuur 147

Volumeberekening D8



Volumeberekening D9



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

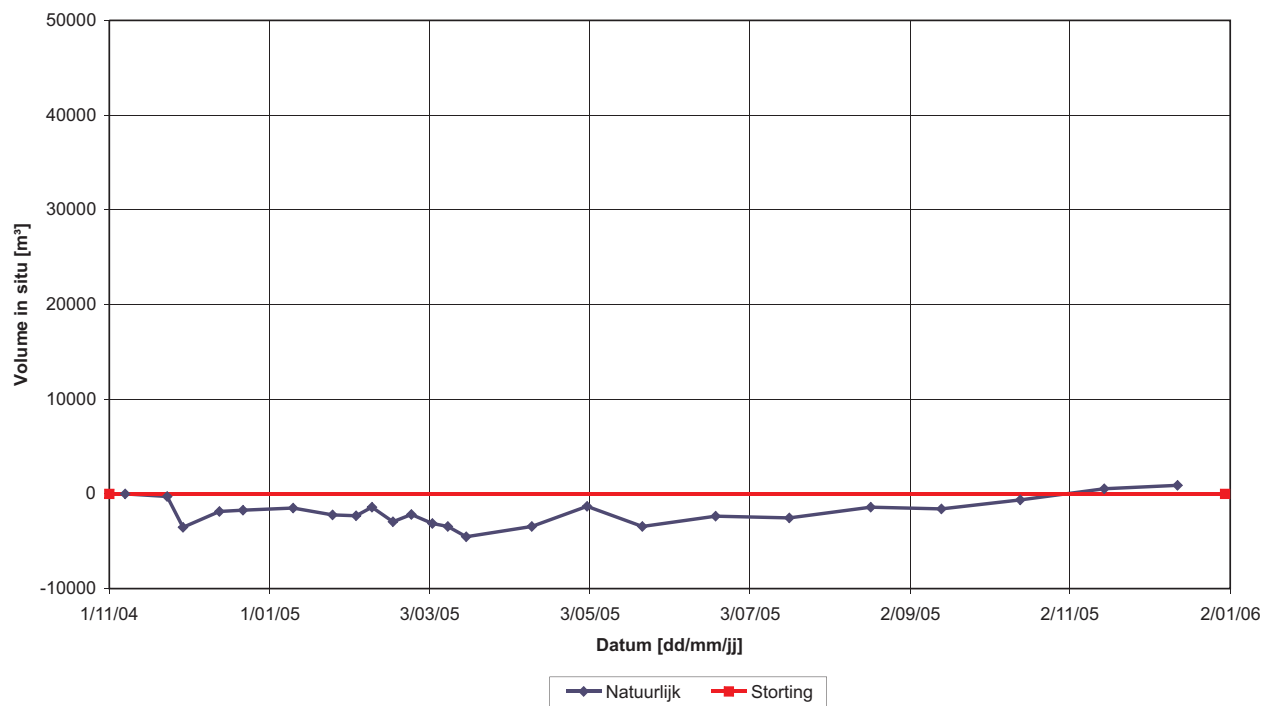


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

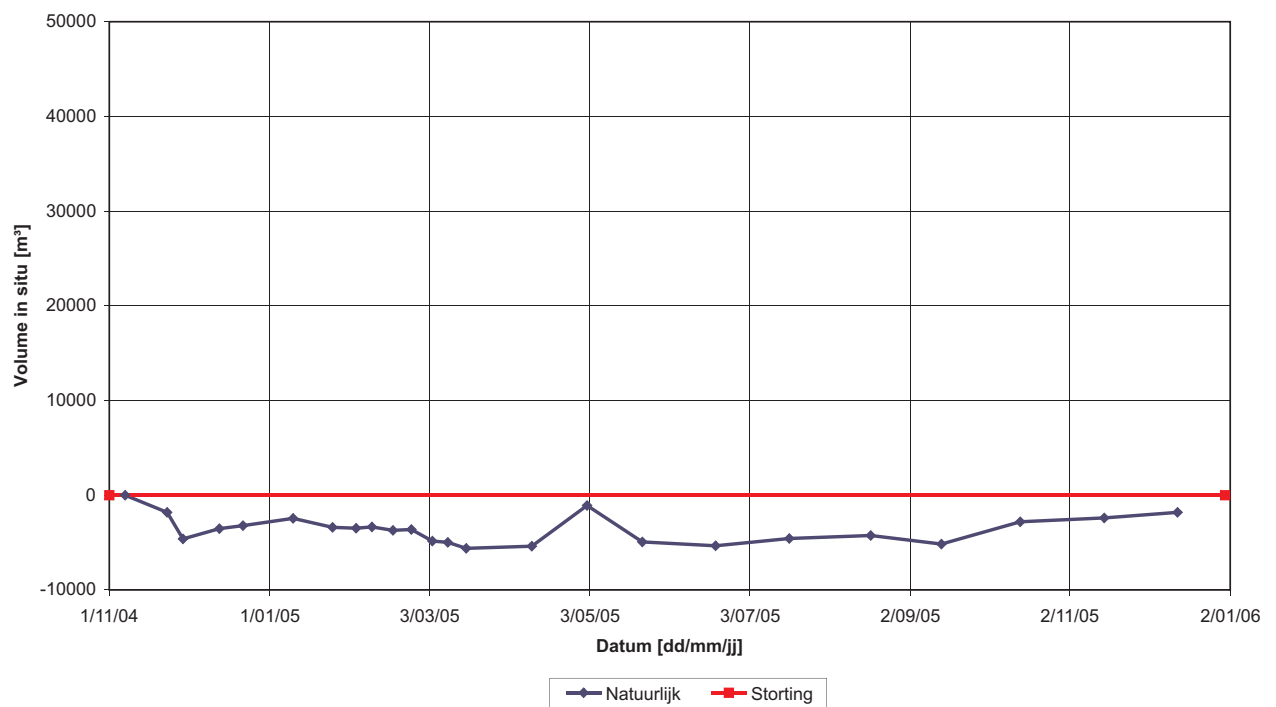
M 791/02

Figuur 148

Volumeberekening E2



Volumeberekening E3



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

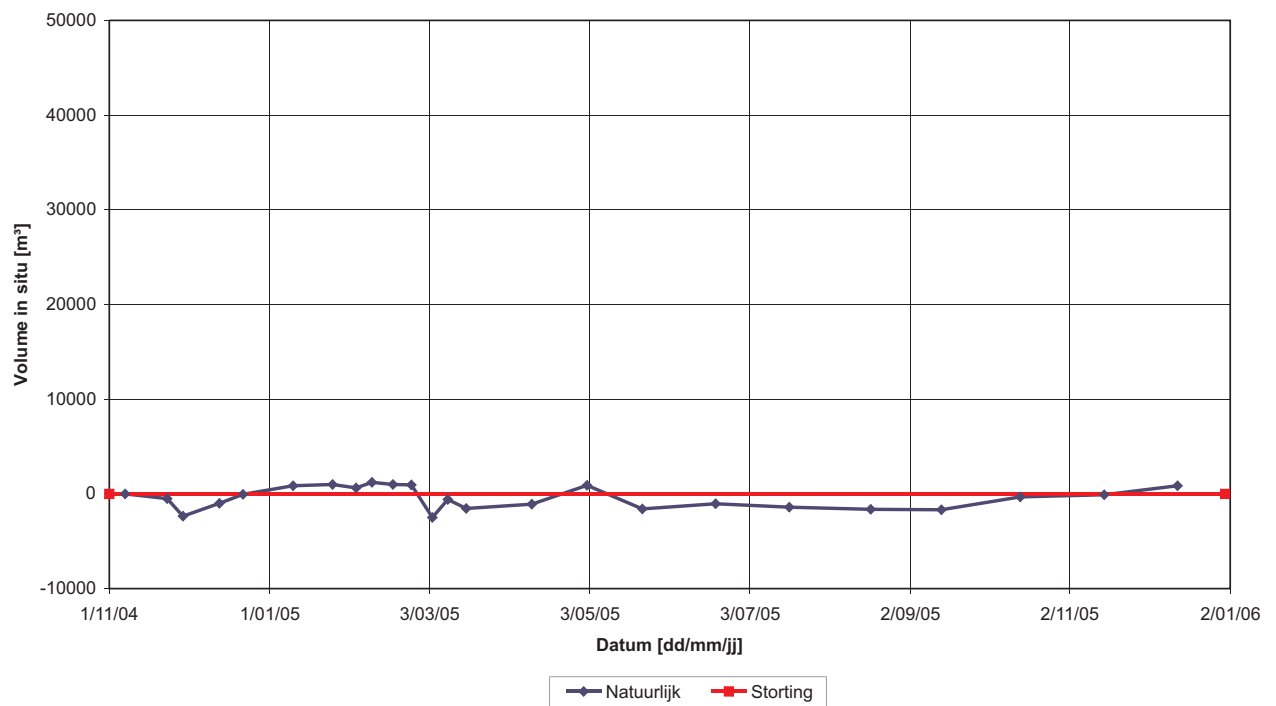


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

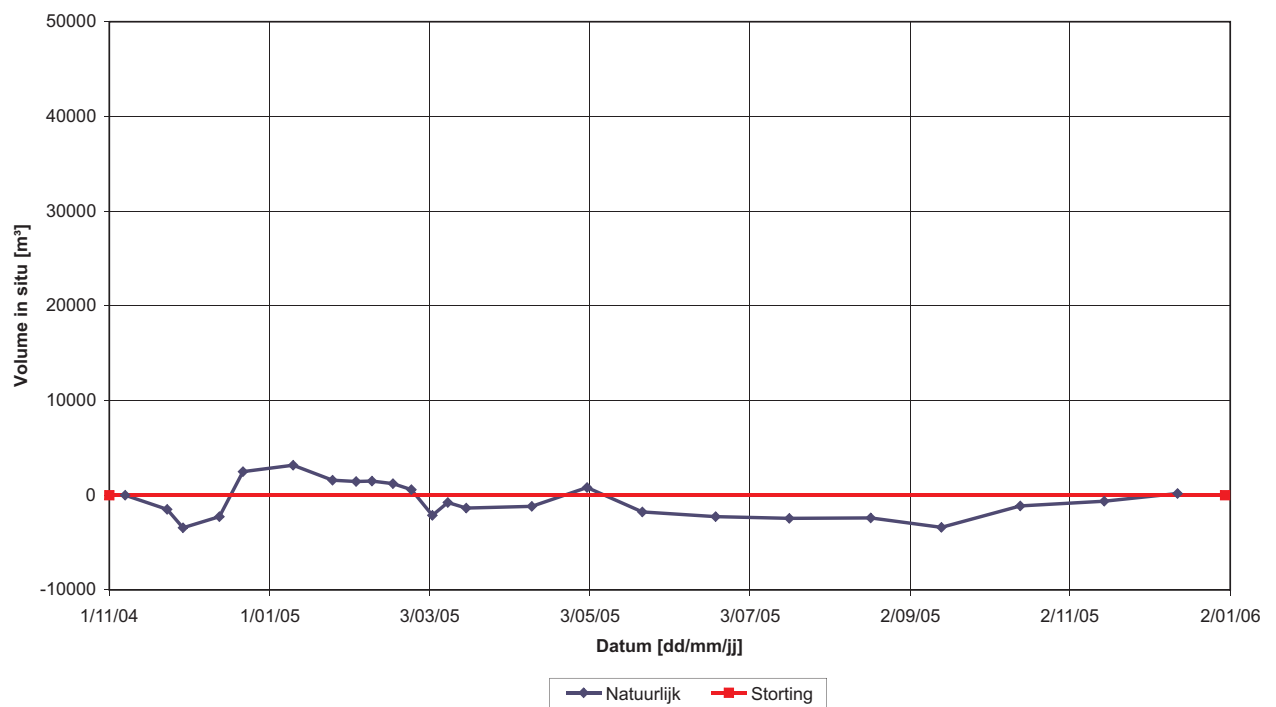
M 791/02

Figuur 149

Volumeberekening E4



Volumeberekening E5



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

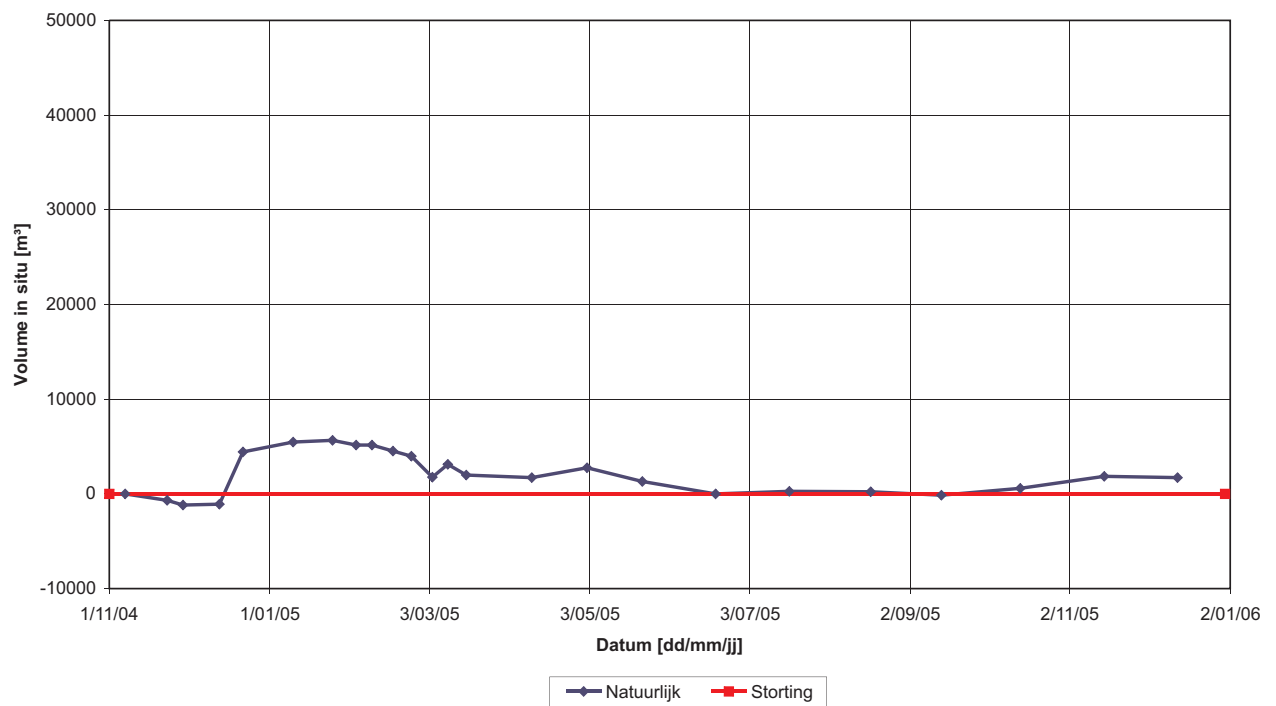


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

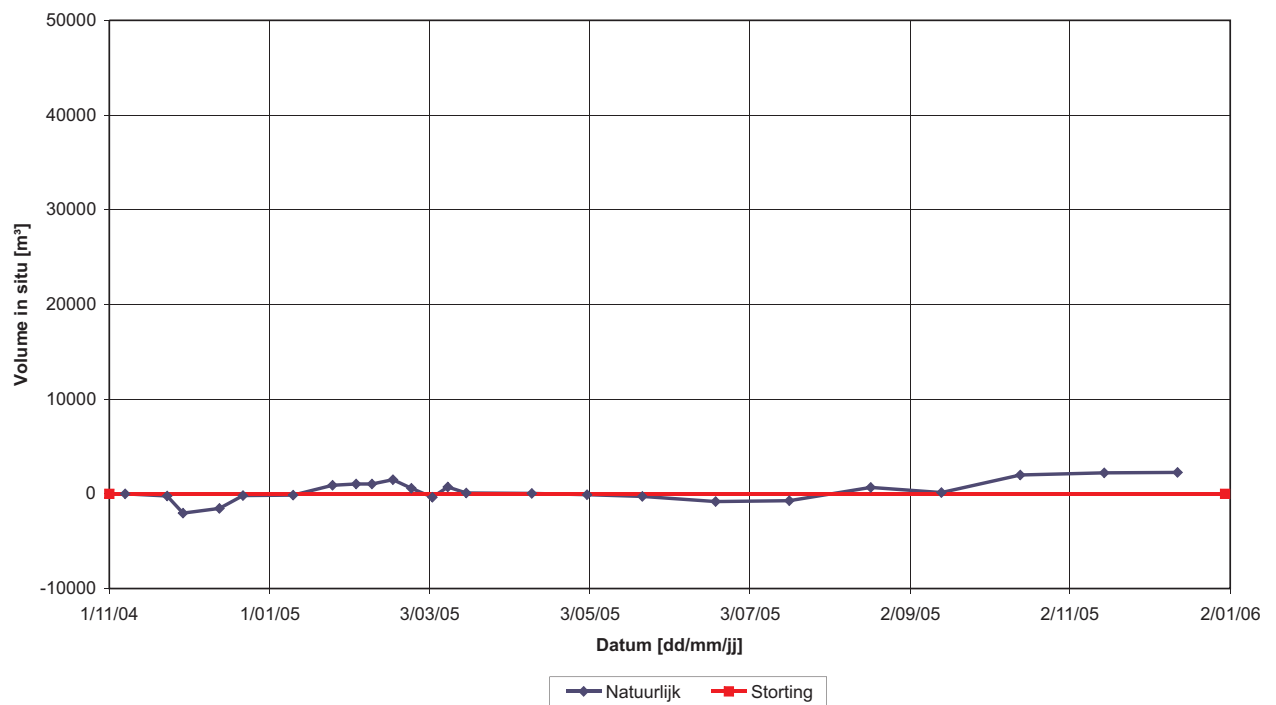
M 791/02

Figuur 150

Volumeberekening E6



Volumeberekening E7



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

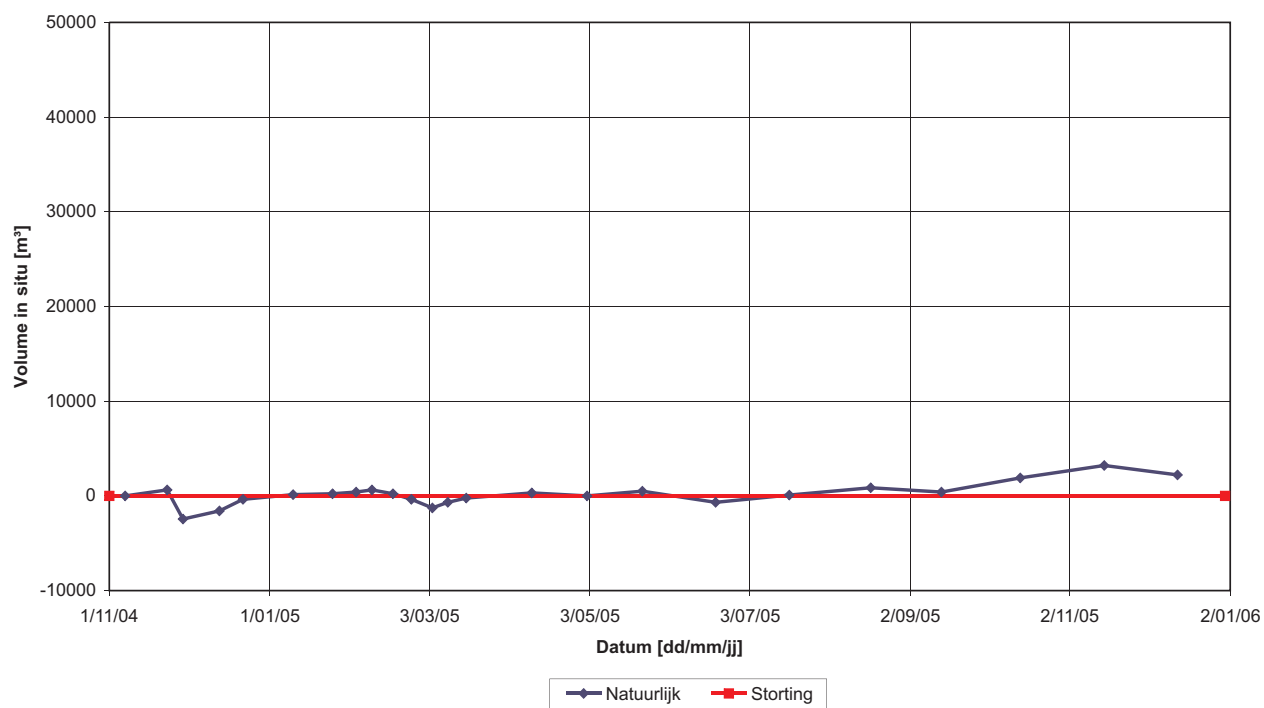


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

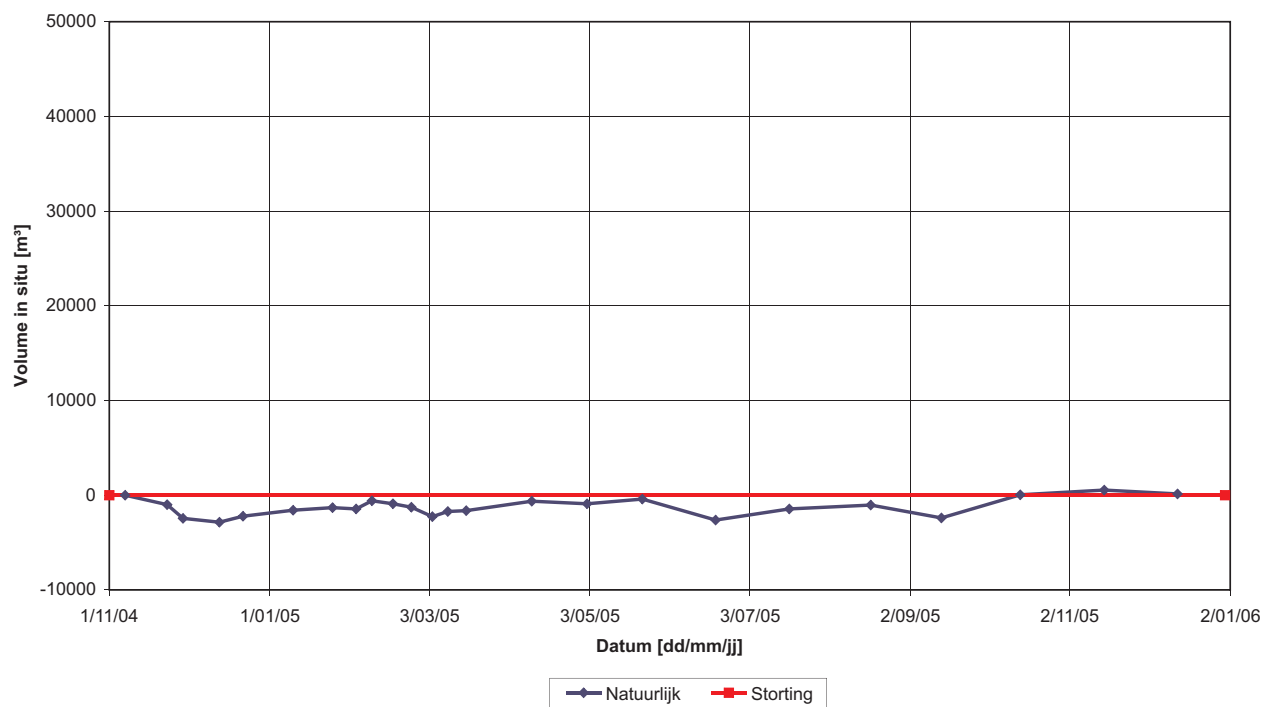
M 791/02

Figuur 151

Volumeberekening E8



Volumeberekening E9



Volumebalans individuele rekenvakken Walsoorden

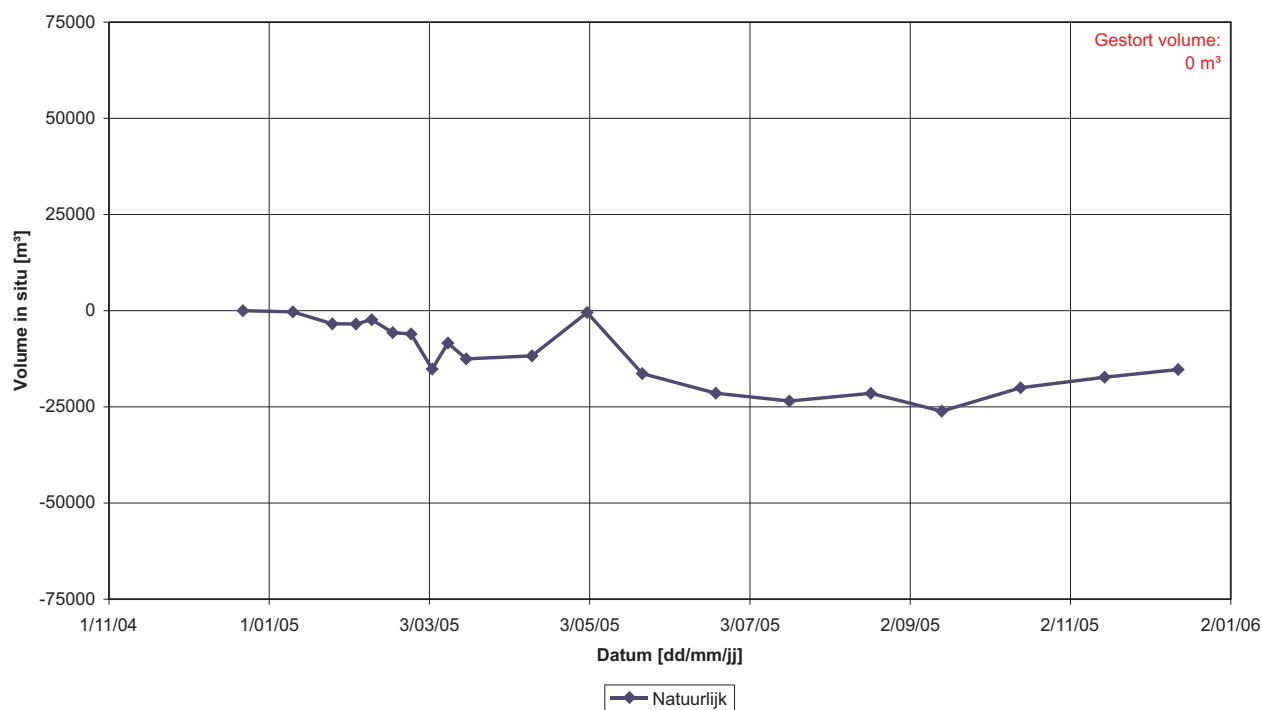


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

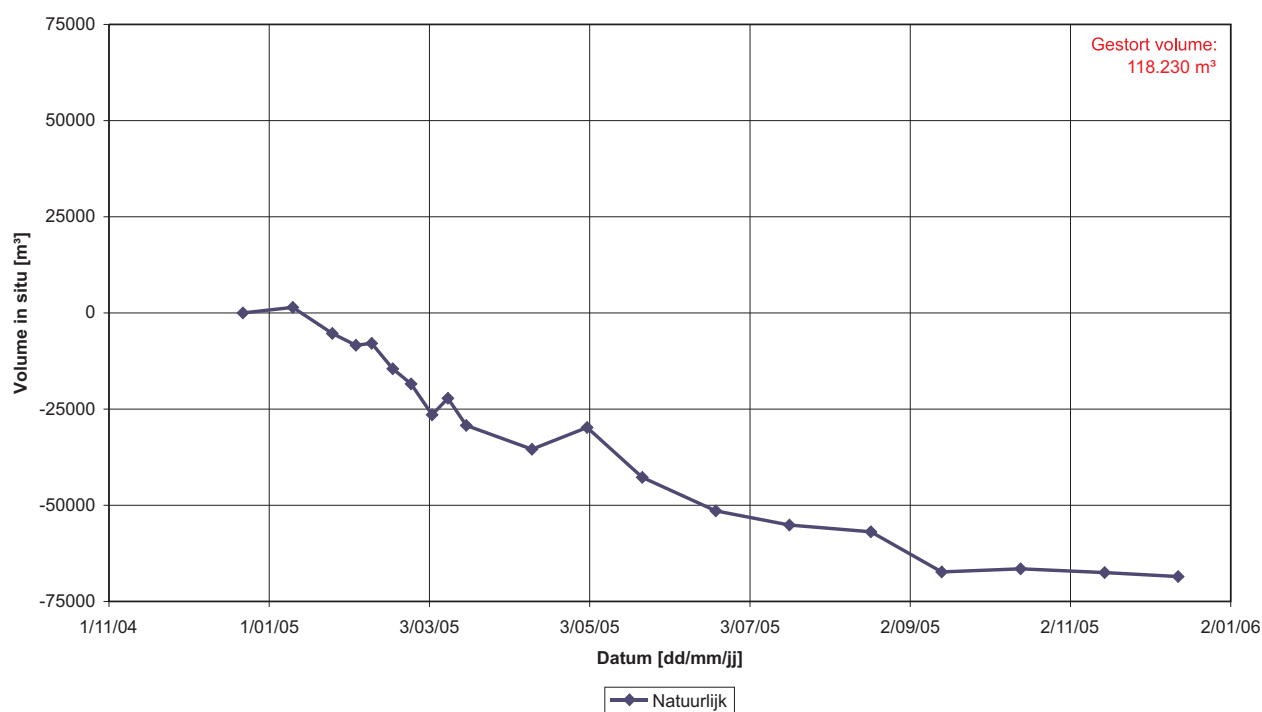
M 791/02

Figuur 152

Volumeberekening kolomrij 2



Volumeberekening kolomrij 3



Volumebalans per kolomrij Walsoorden

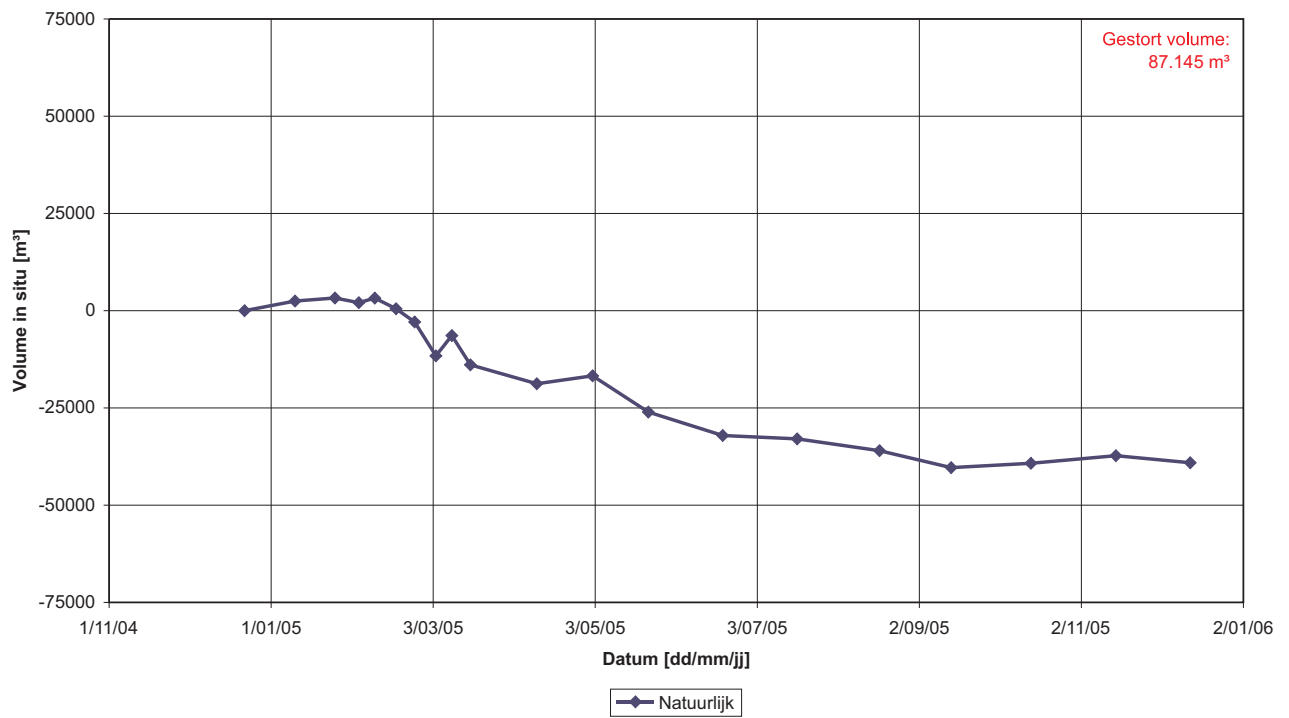


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

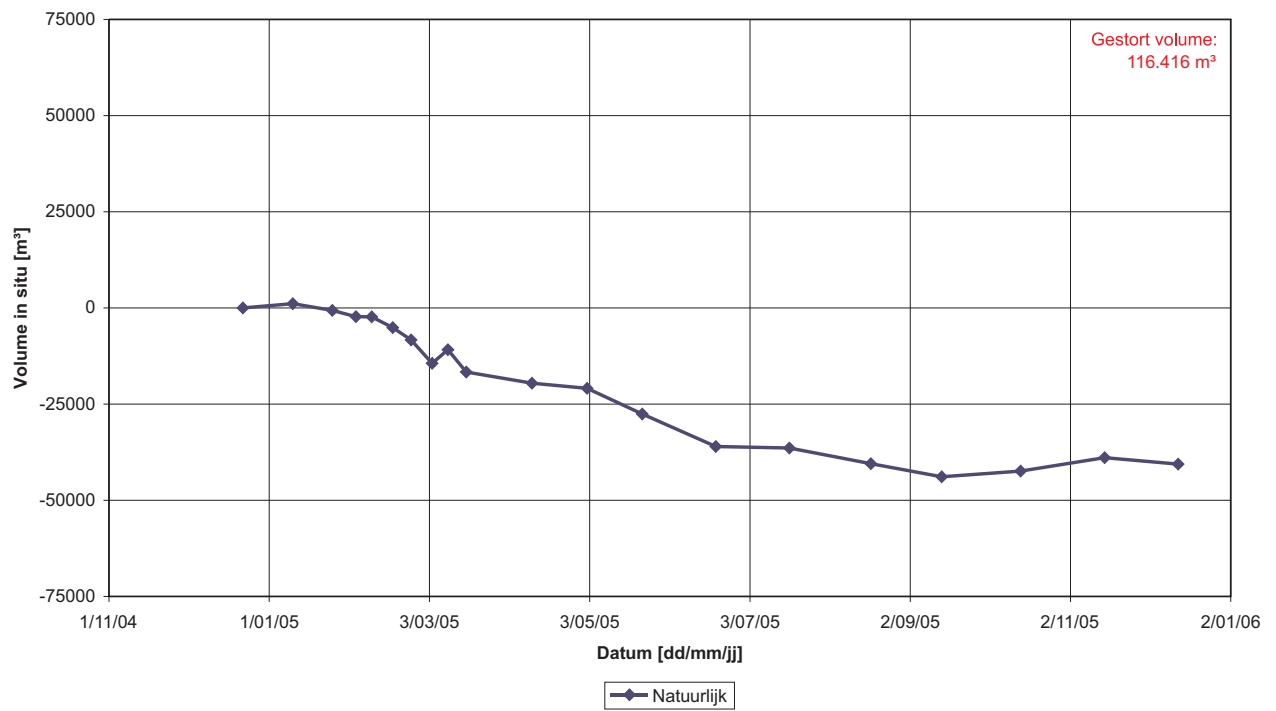
M 791/02

Figuur 153

Volumeberekening kolomrij 4



Volumeberekening kolomrij 5



Volumebalans per kolomrij Walsoorden

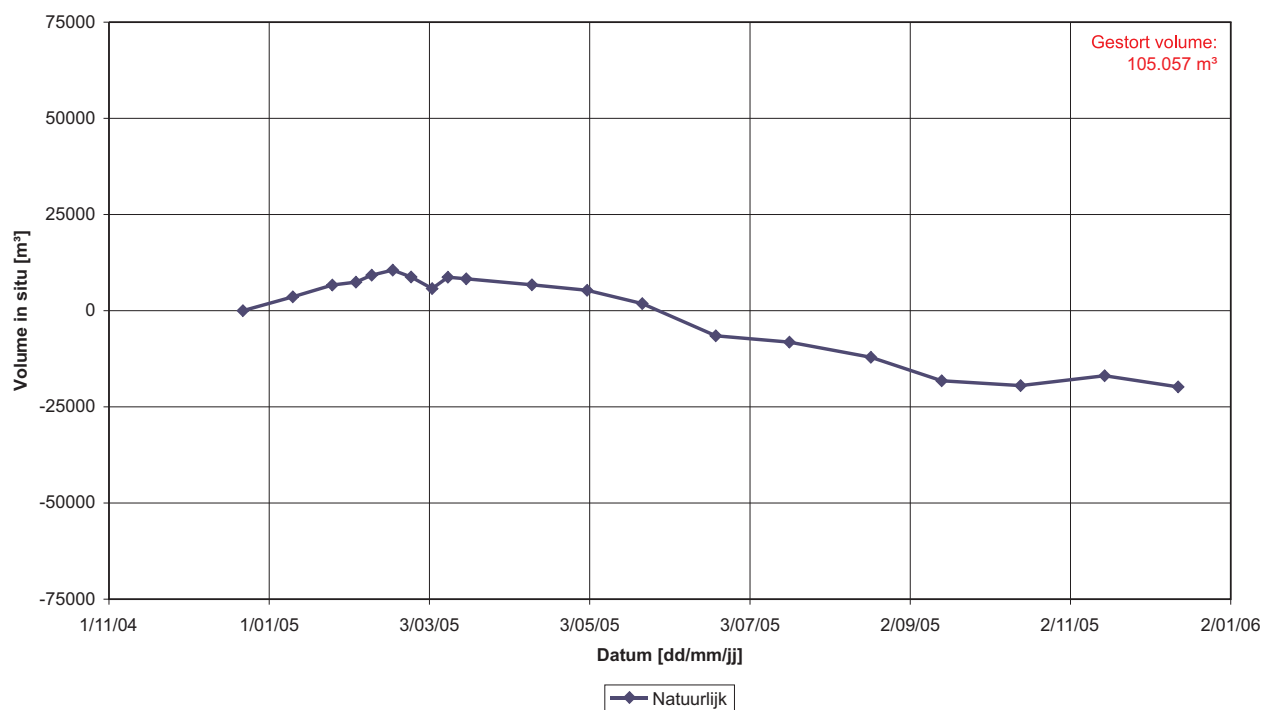


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

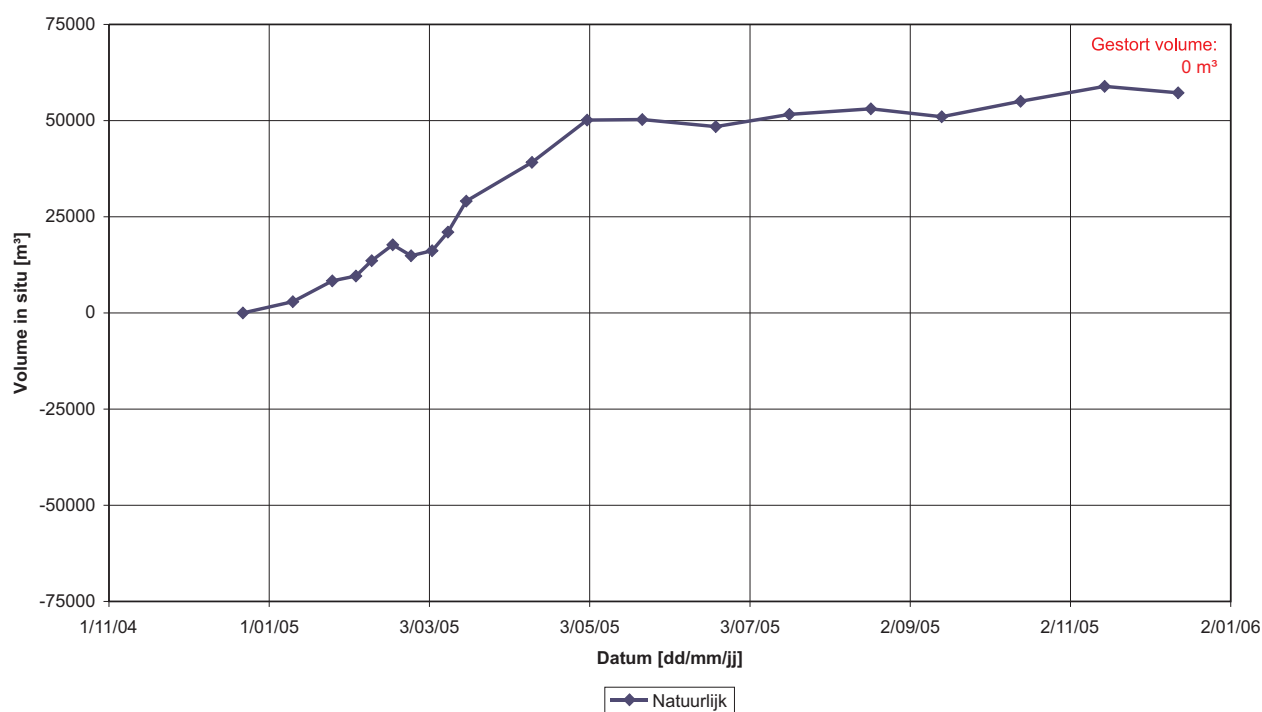
M 791/02

Figuur 154

Volumeberekening kolomrij 6



Volumeberekening kolomrij 7



Volumebalans per kolomrij Walsoorden



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 155

Volume in situ [m³]

Datum [dd/mm/jjj]

Legend: Natuurlijk

Gestort volume: 0 m³

Datum [dd/mm/jjj]	Volume in situ [m³] (Natuurlijk)
11/11/04	0
15/01/05	2000
20/02/05	2000
25/03/05	5000
30/04/05	12000
05/05/05	25000
10/06/05	25000
15/07/05	28000
20/08/05	42000
25/09/05	40000
30/10/05	45000
05/11/05	48000
10/12/05	47000
15/01/06	45000

Volume in situ [m³]

Datum [dd/mm/jj]

—◆— Natuurlijk

Gestort volume:
0 m³

Datum [dd/mm/jj]	Volume in situ [m³] (Natuurlijk)
1/01/05	0
15/01/05	2000
25/01/05	1000
05/02/05	1000
15/02/05	5000
25/02/05	3000
05/03/05	-5000
15/03/05	1000
25/03/05	2000
05/04/05	4000
15/04/05	15000
05/05/05	10000
15/05/05	12000
05/06/05	18000
15/06/05	22000
05/07/05	25000
15/07/05	30000
05/08/05	35000
15/08/05	38000
05/09/05	40000
15/09/05	40000

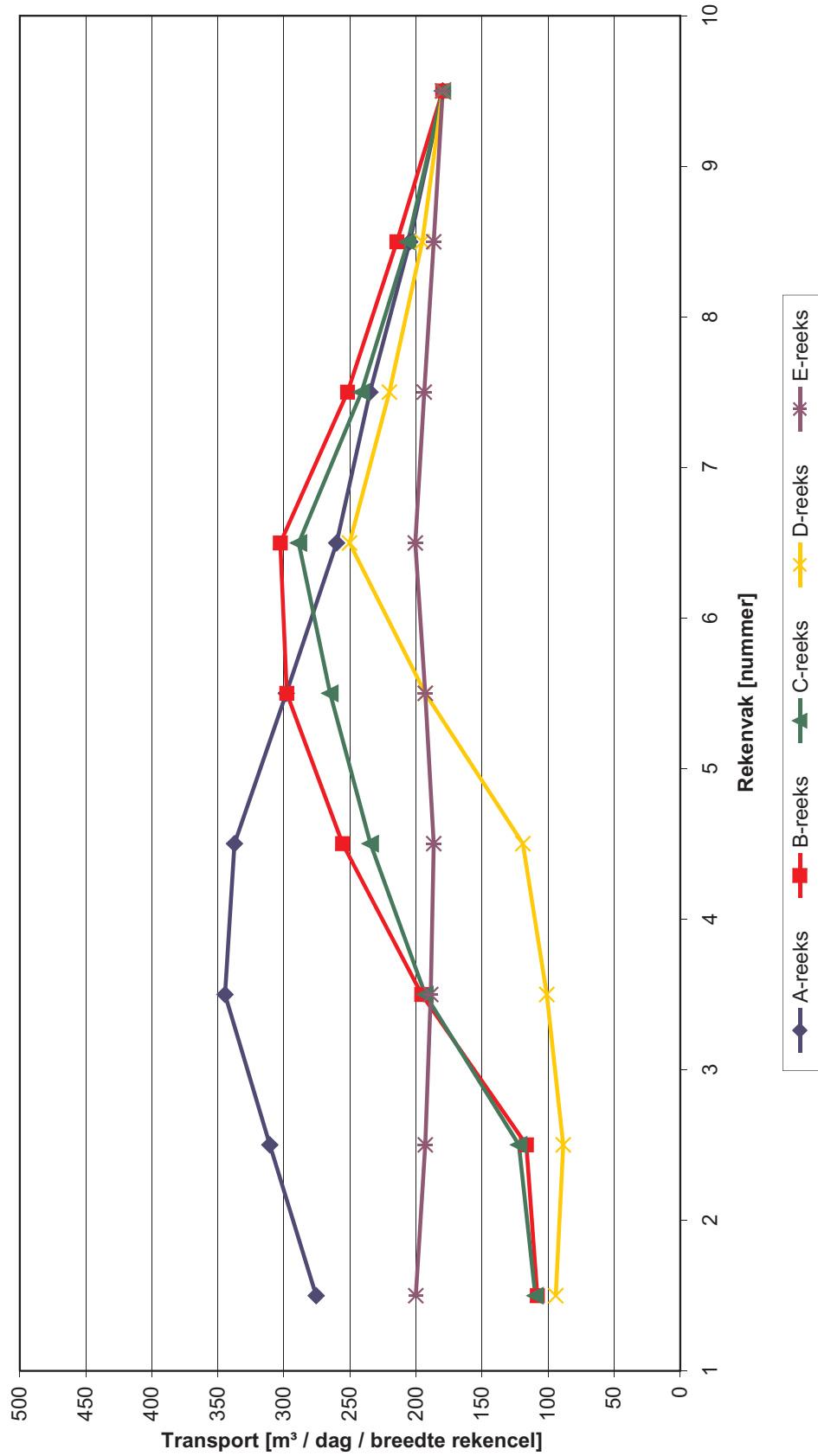


Figuur 156

Dagelijkse erosie/sedimentatie: 22/12/04 - 13/12/05

	2	3	4	5	6	7	8	9
A	-35	-34	7	39	38	25	30	25
B	-8	-79	-60	-42	-5	51	37	34
C	-13	-71	-41	-31	-24	47	35	26
D	6	-13	-18	-74	-57	30	25	15
E	7	4	2	-6	-8	7	7	7

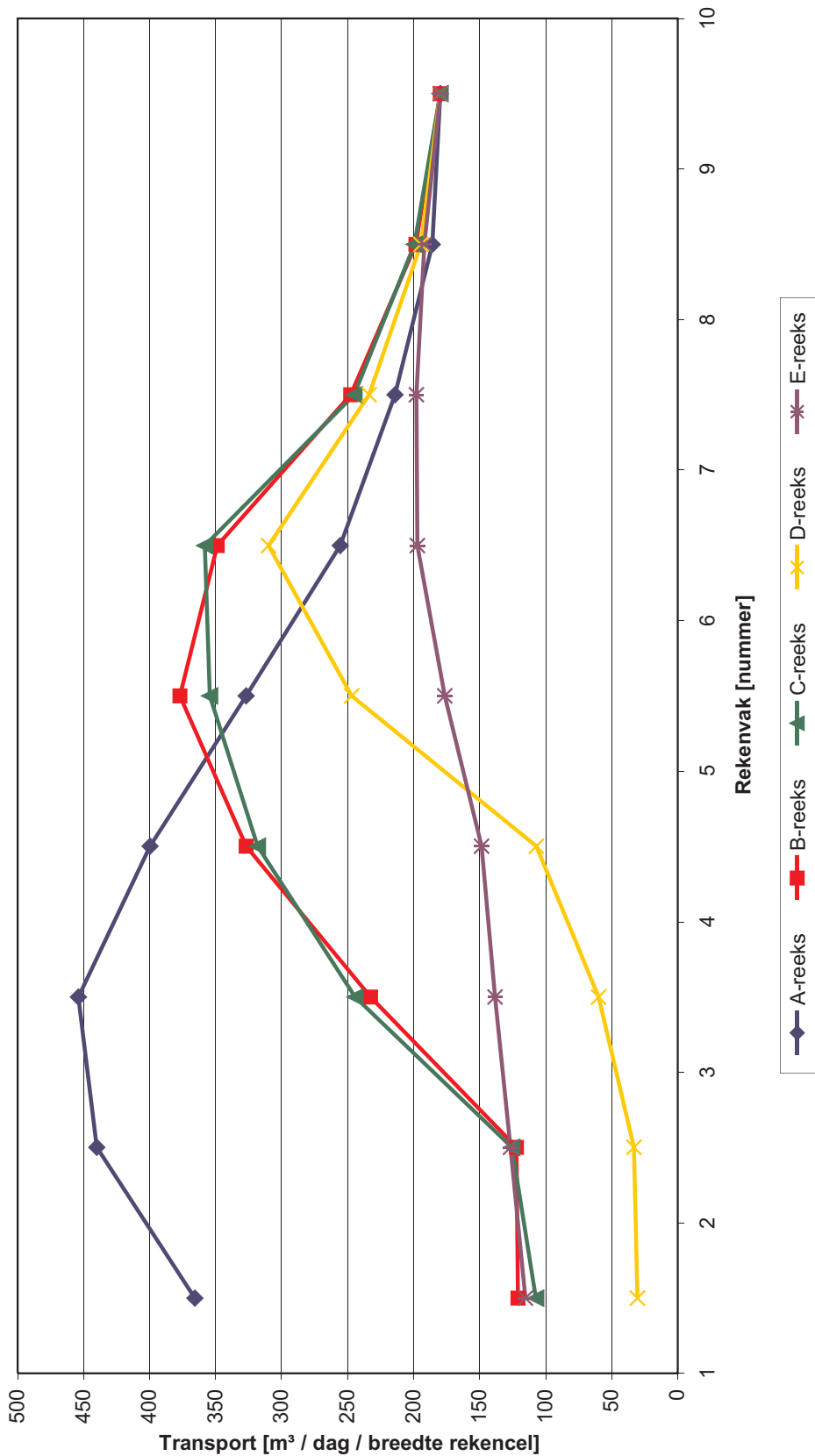
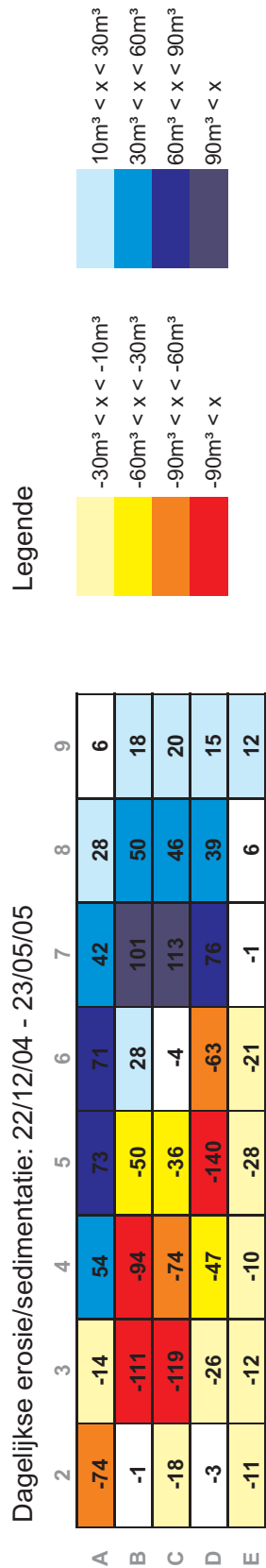
Legende



Dagelijkse netto-erosie (-) en sedimentatie (+) + zandbalans.
Periode: 22 december 2004 - 13 december 2005



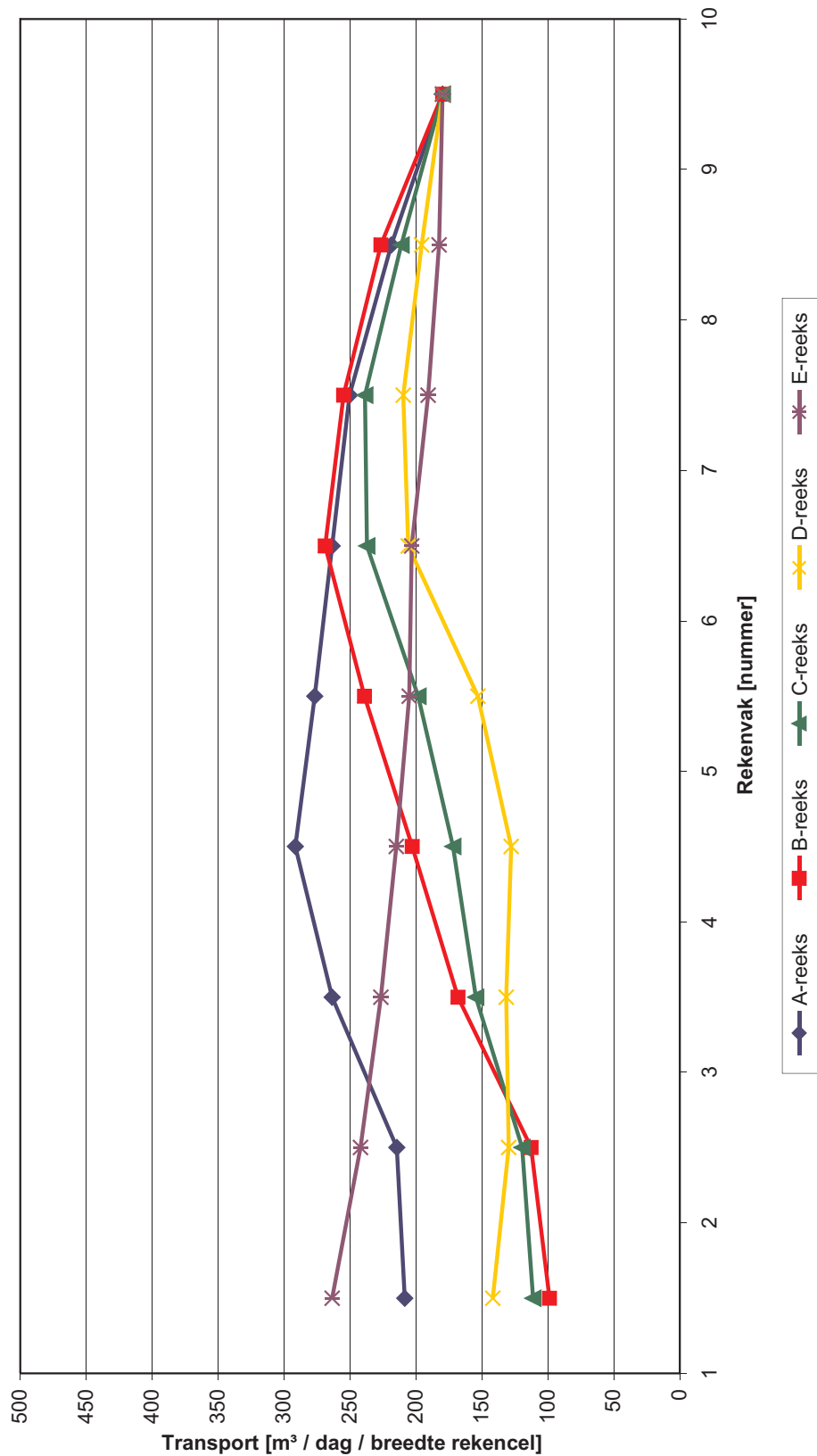
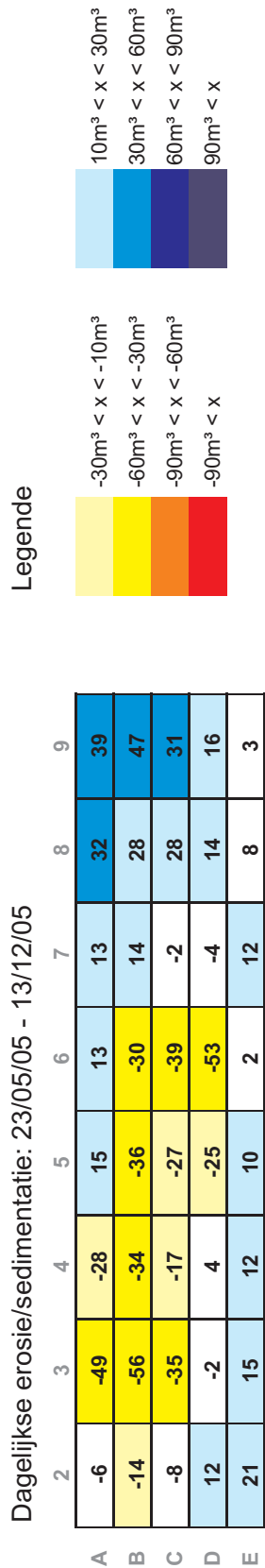
Dagelijkse erosie/sedimentatie: 22/12/04 - 23/05/05



Dagelijkse netto-erosie (-) en sedimentatie (+) + zandbalans
Periode 22 december 2004 - 23 mei 2005



Dagelijkse erosie/sedimentatie: 23/05/05 - 13/12/05



Dagelijkse netto-erosie (-) en sedimentatie (+) + zandbalans
Periode 23 mei 2005 - 13 december 2005

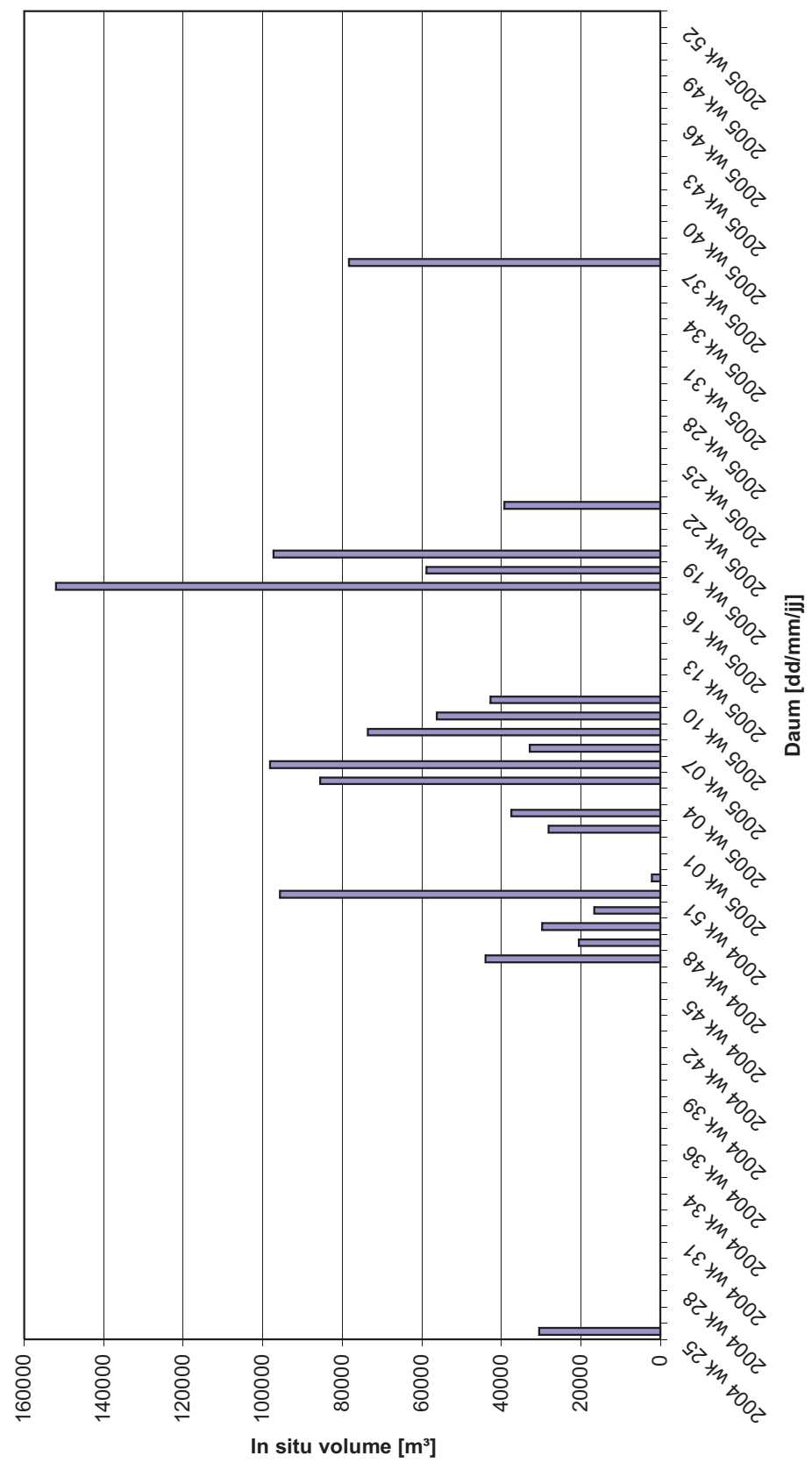


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 159

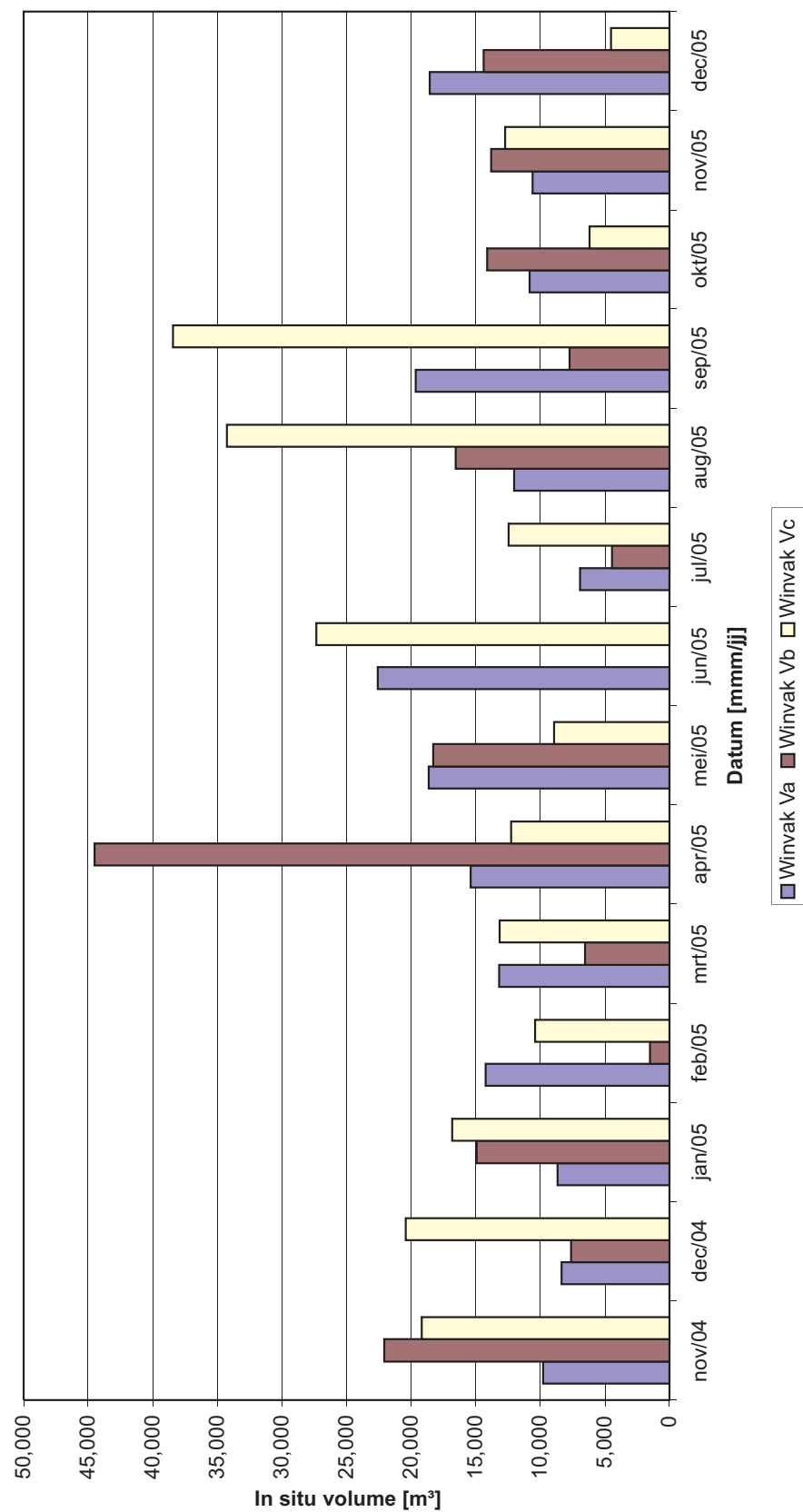
Stortingen Schaar van Waarde



Evolutie in situ stortvolumes in stortvak "Schaar van Waarde"



Zandwinning 2005



Evolutie in situ zandwinvolumes in stortvak “Schaar van Waarde”

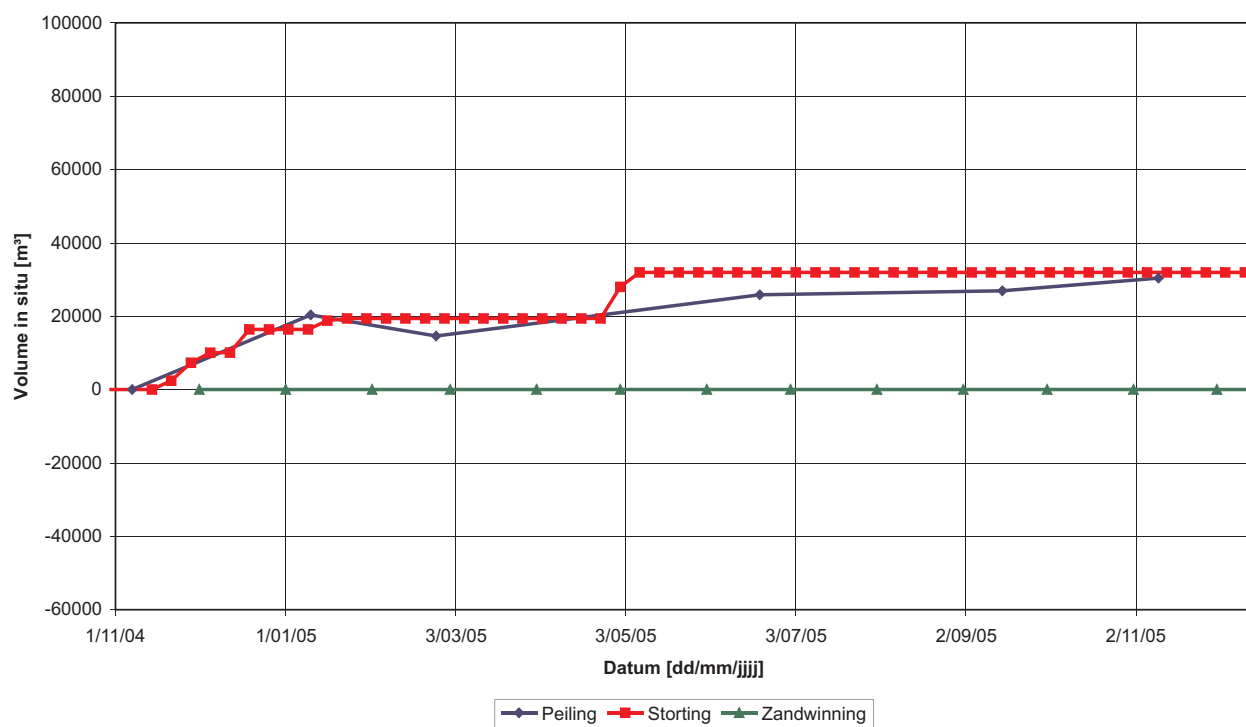


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

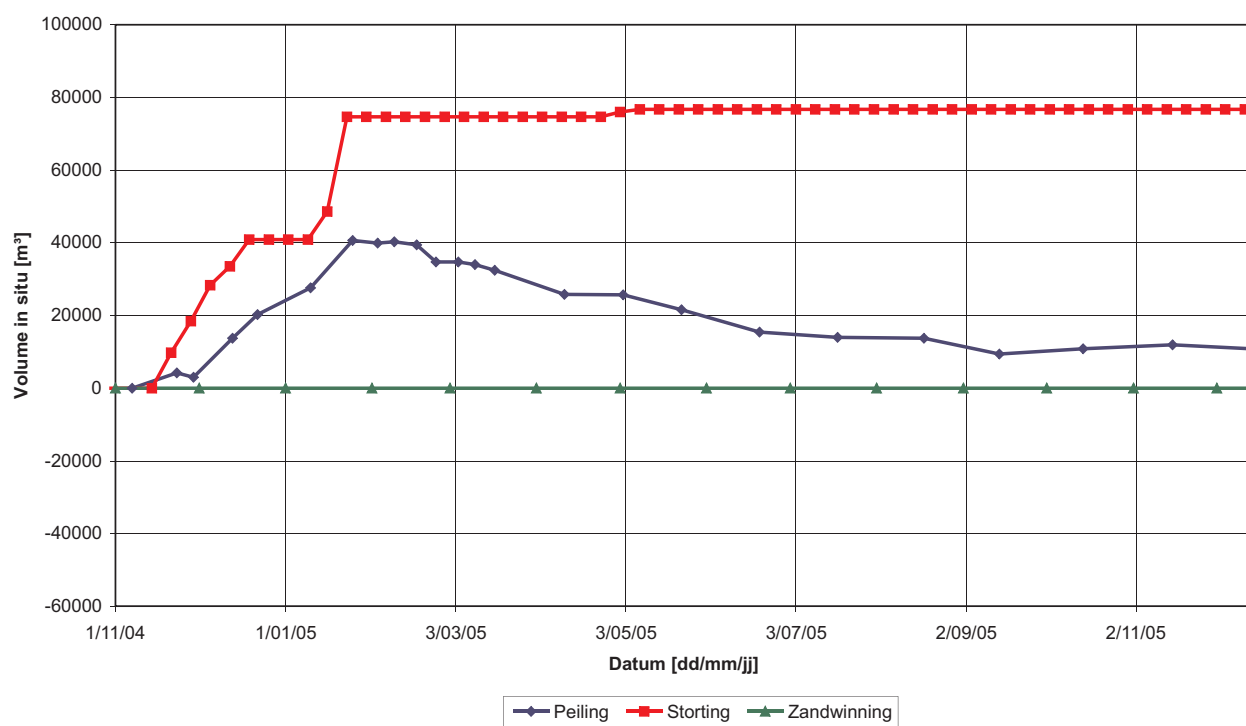
M 791/02

Figuur 161

Volumeberekening vak B1



Volumeberekening vak B2



Volumebalans individuele rekenvakken “Schaar van Waarde”

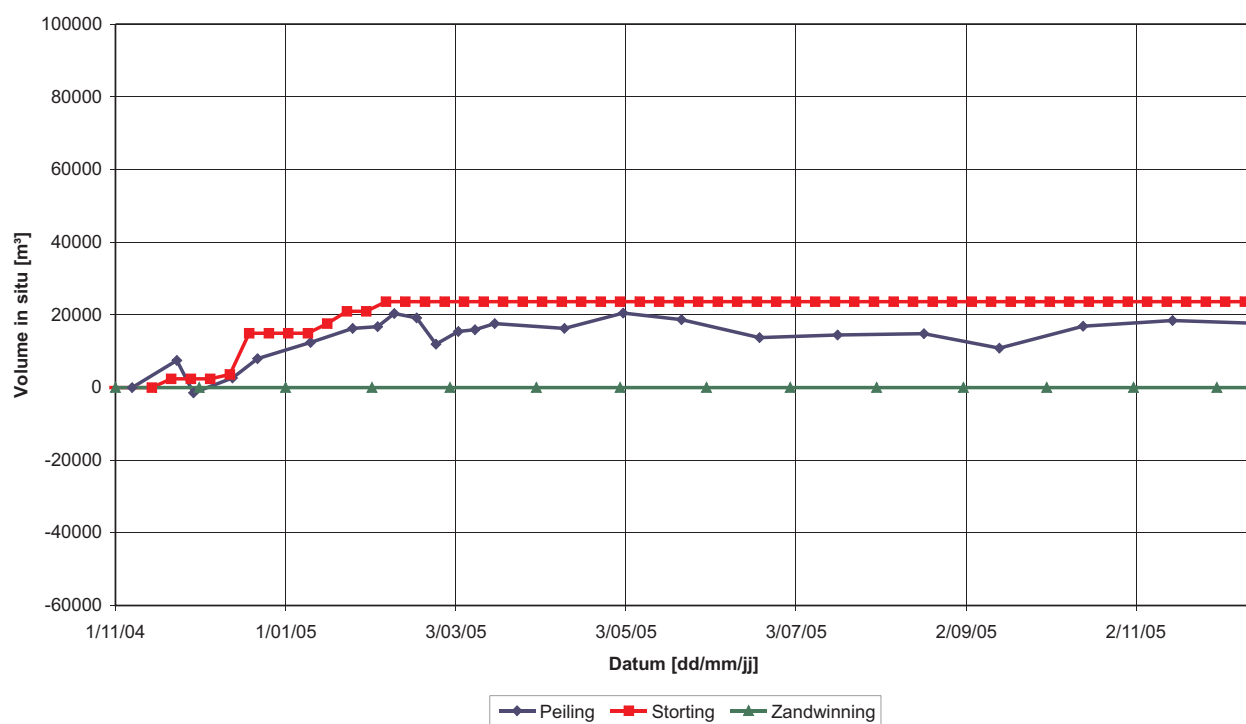


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

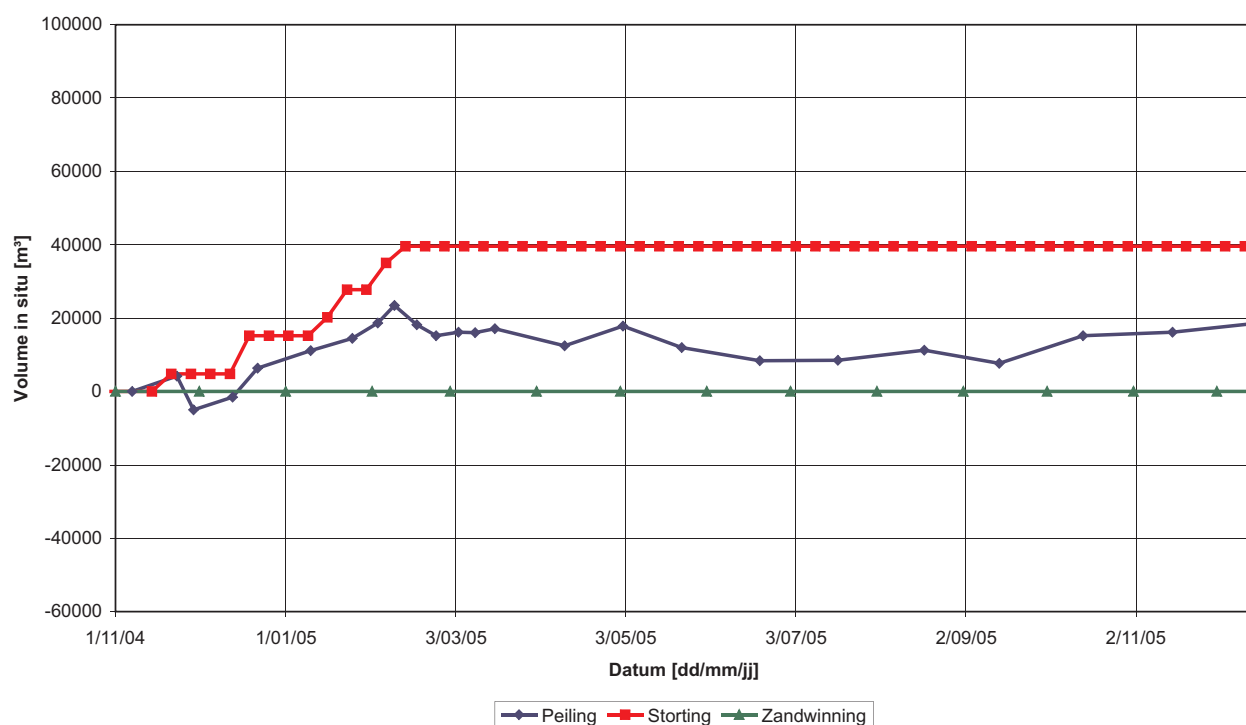
M 791/02

Figuur 162

Volumeberekening vak B3



Volumeberekening vak B4



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

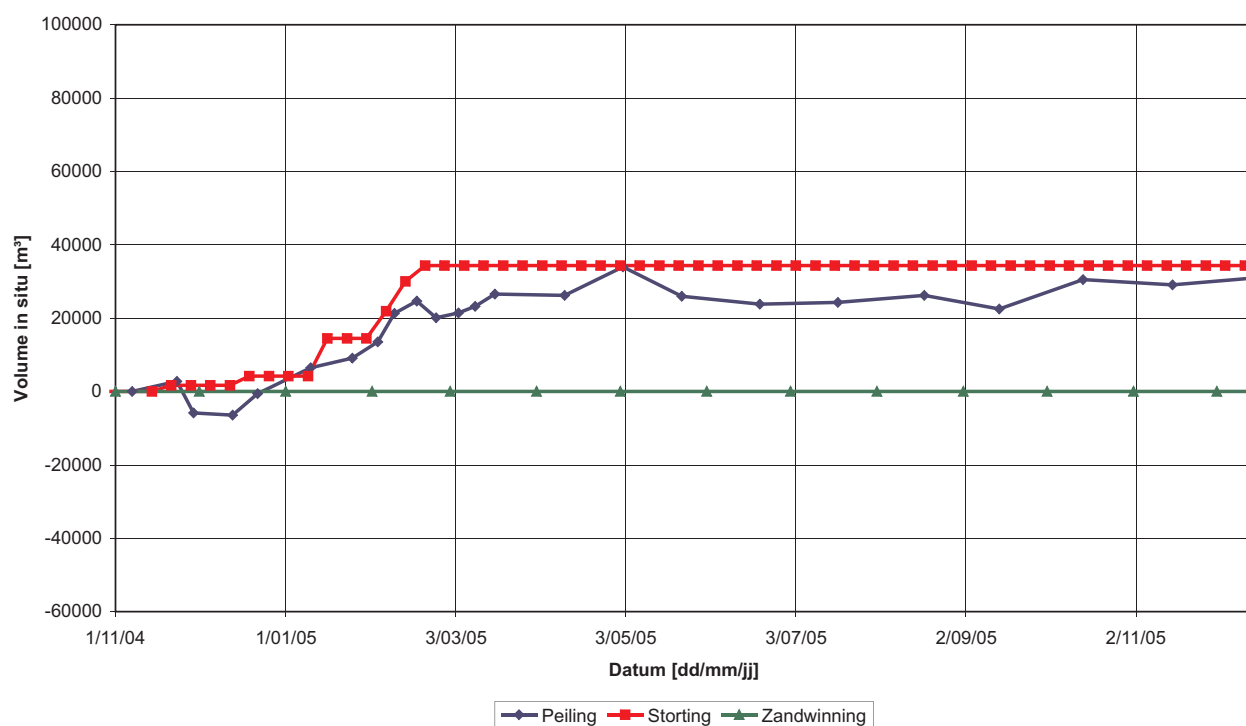


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

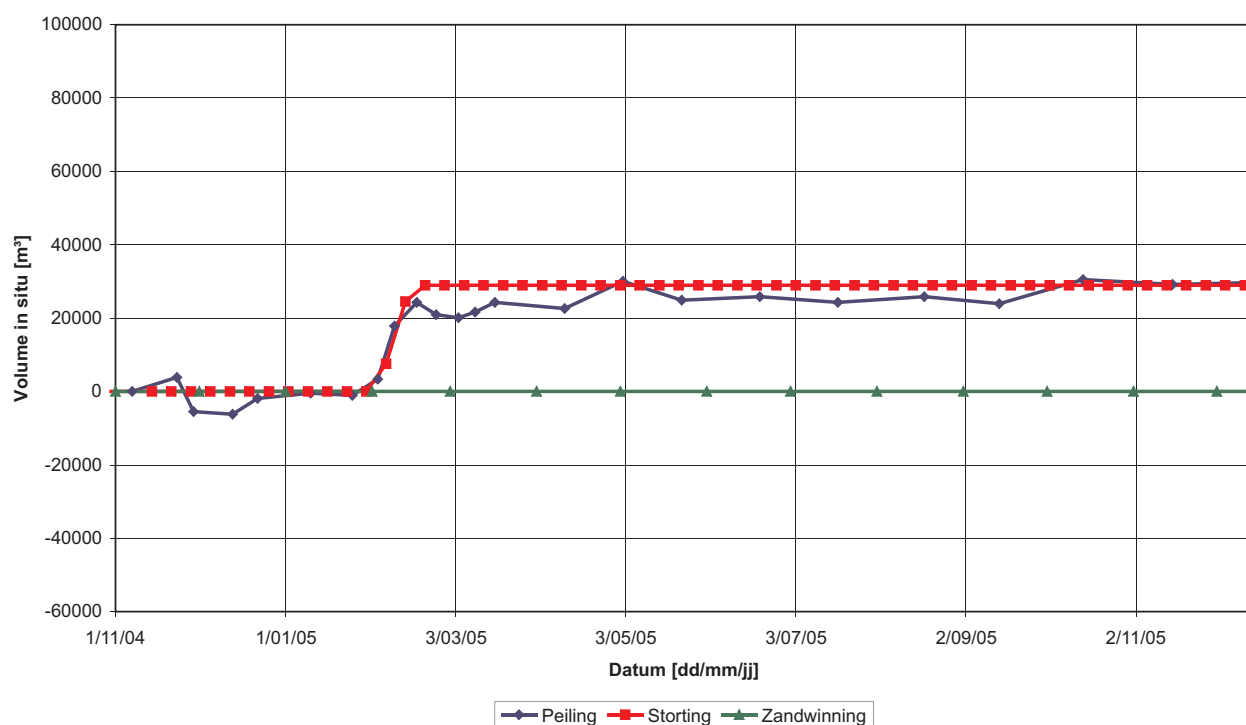
M 791/02

Figuur 163

Volumeberekening vak B5



Volumeberekening vak B6



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

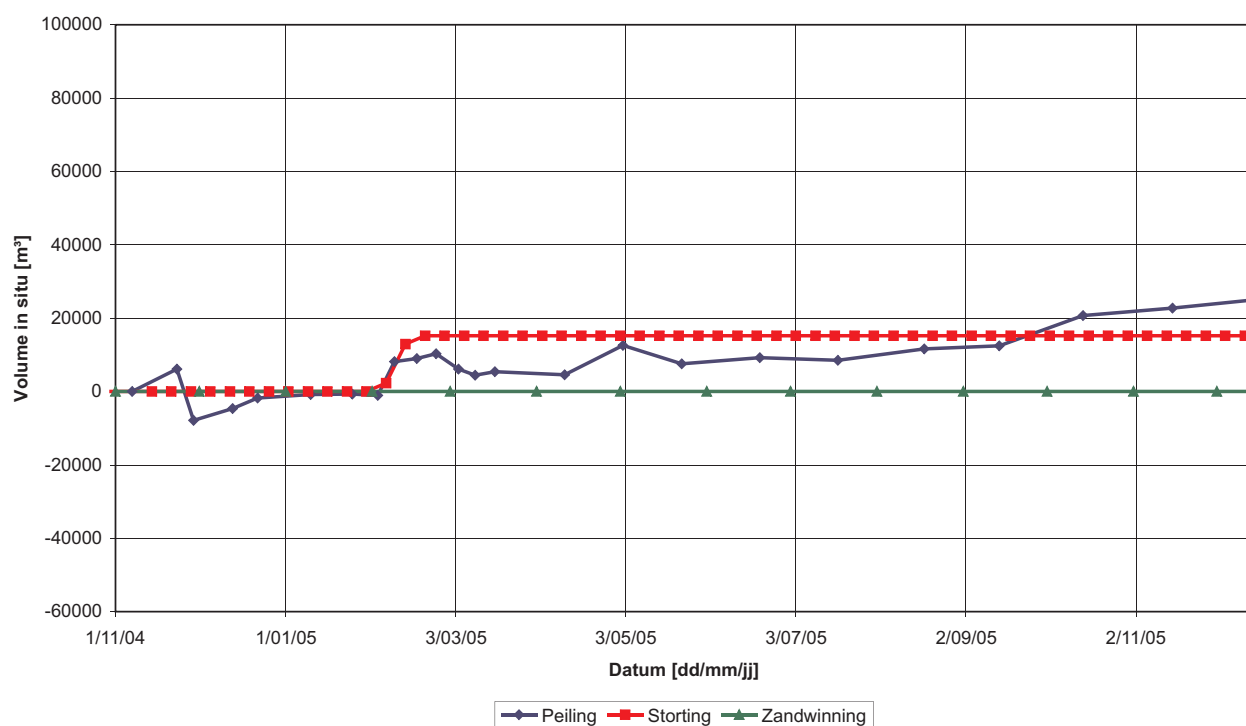


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

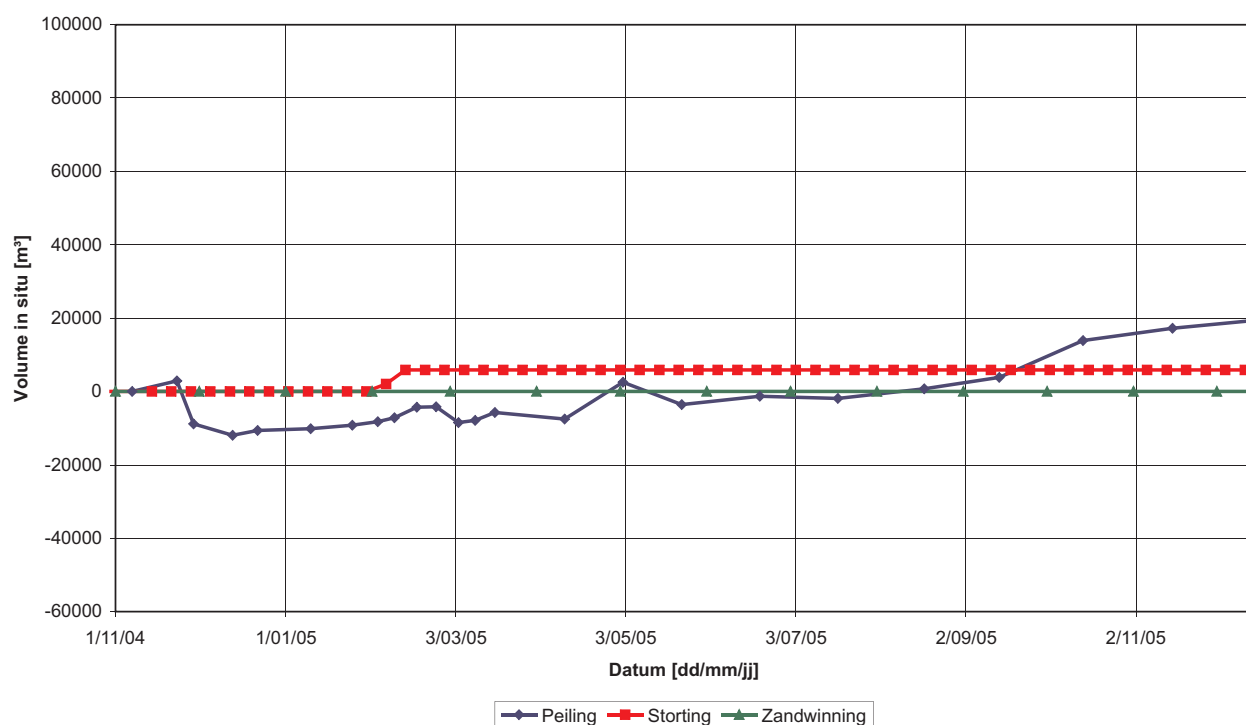
M 791/02

Figuur 164

Volumeberekening vak B7



Volumeberekening vak B8



Volumebalans individuele rekenvakken “Schaar van Waarde”

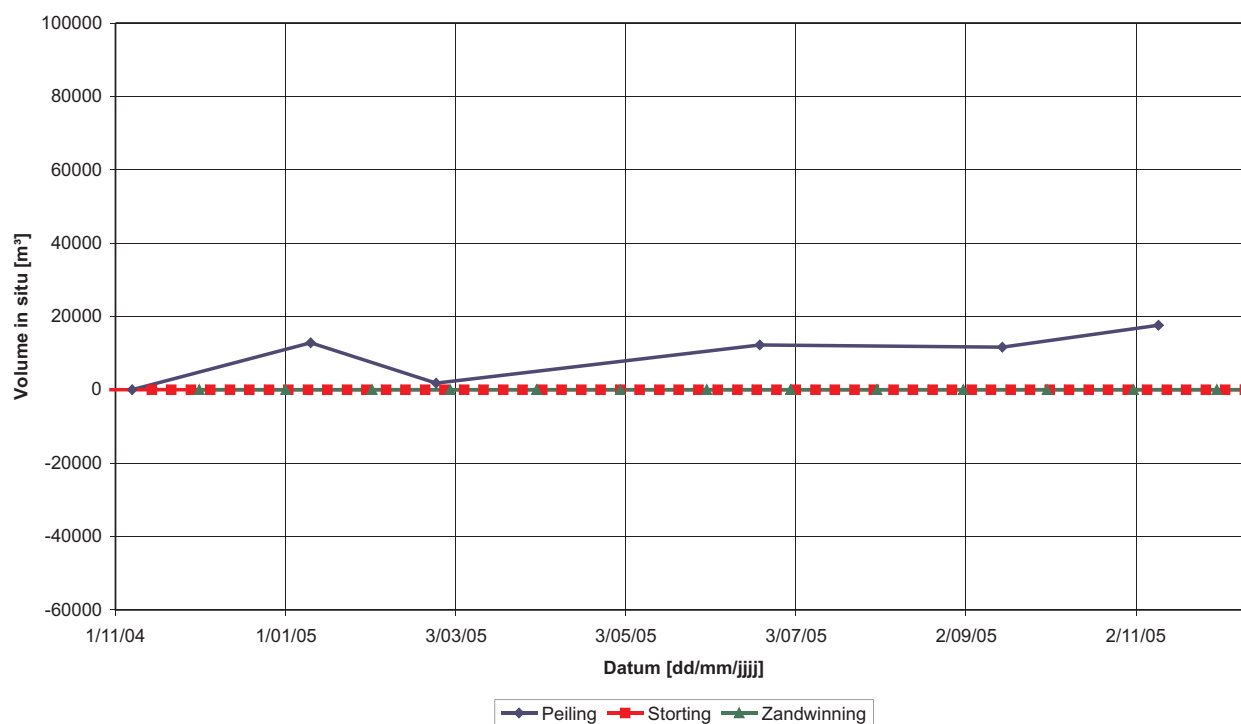


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

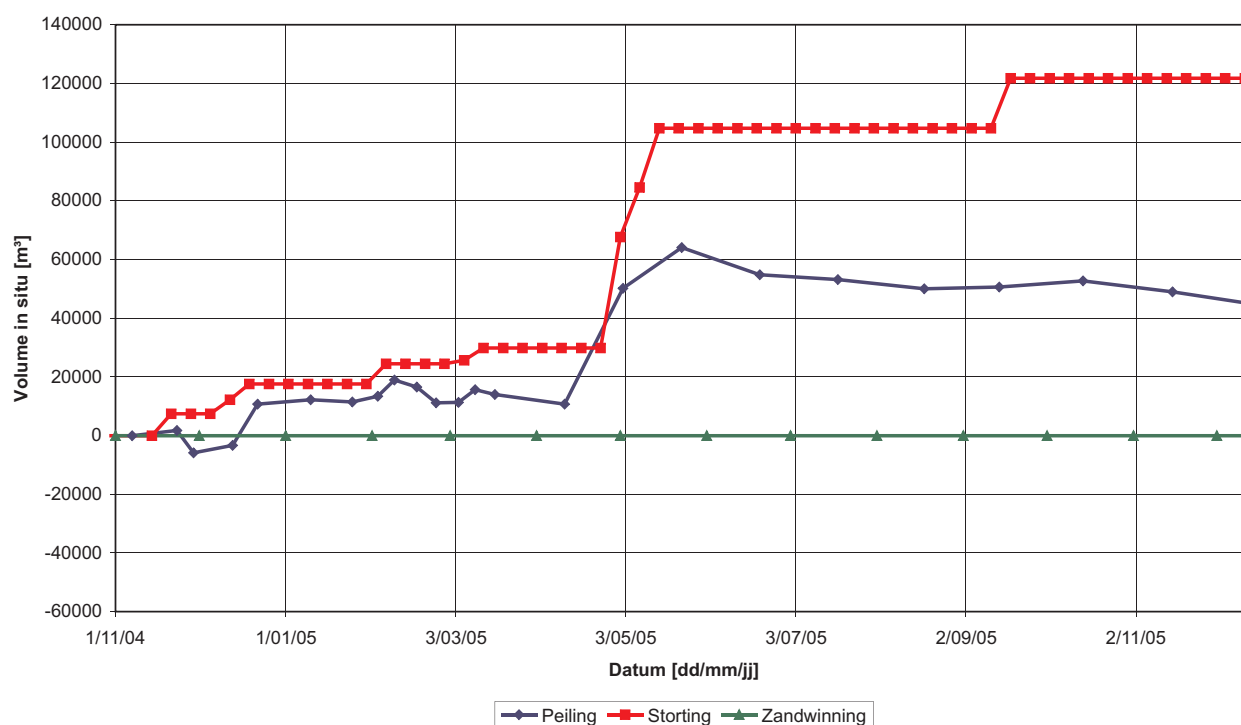
M 791/02

Figuur 165

Volumeberekening vak C1



Volumeberekening vak C2



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

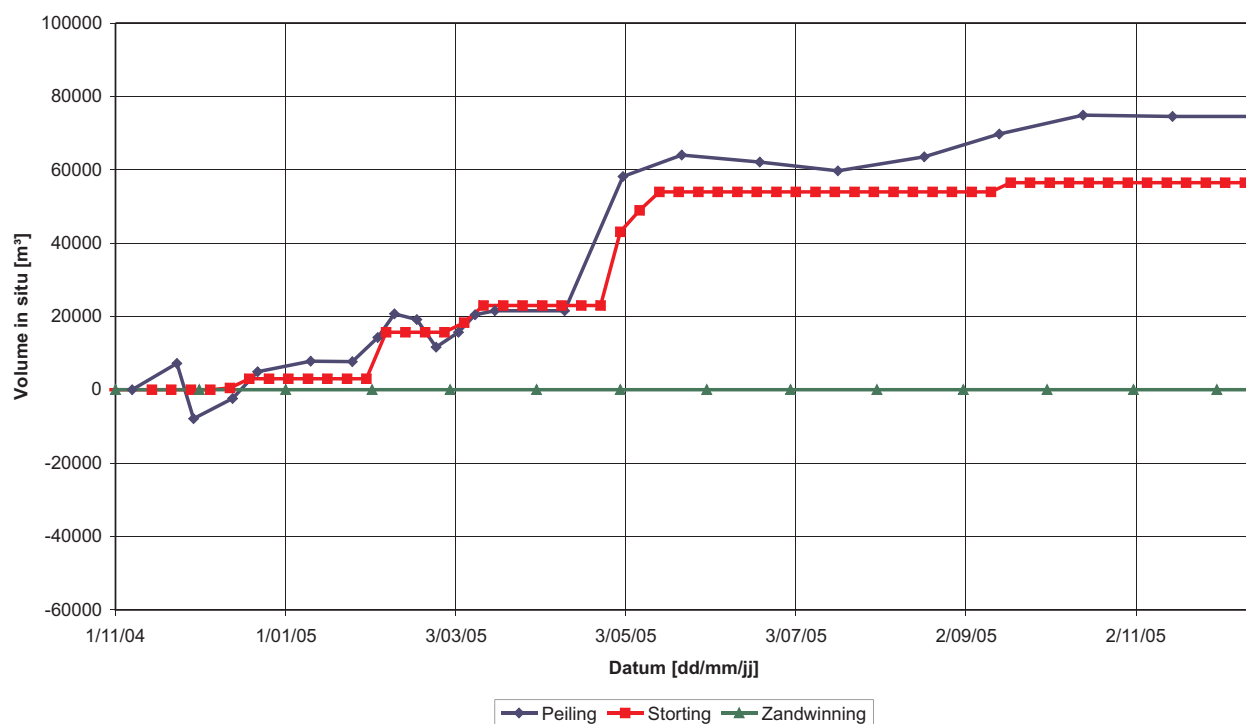


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

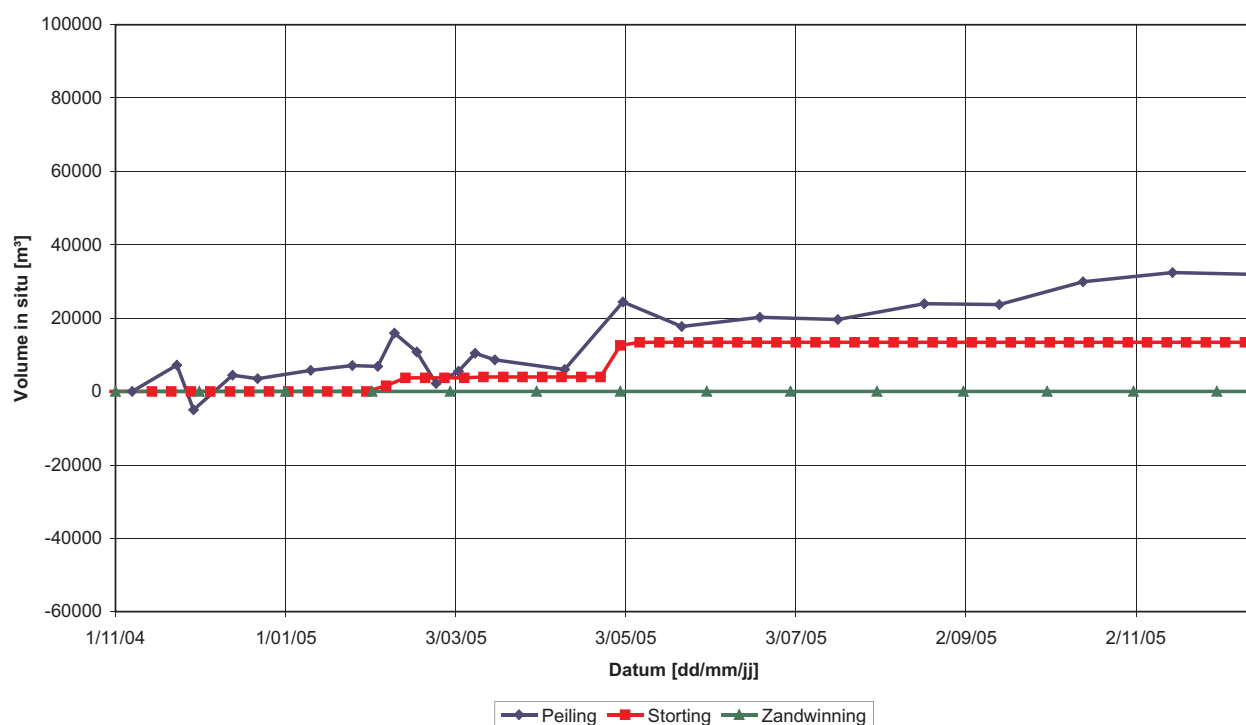
M 791/02

Figuur 166

Volumeberekening vak C3



Volumeberekening vak C4



Volumebalans individuele rekenvakken “Schaar van Waarde”

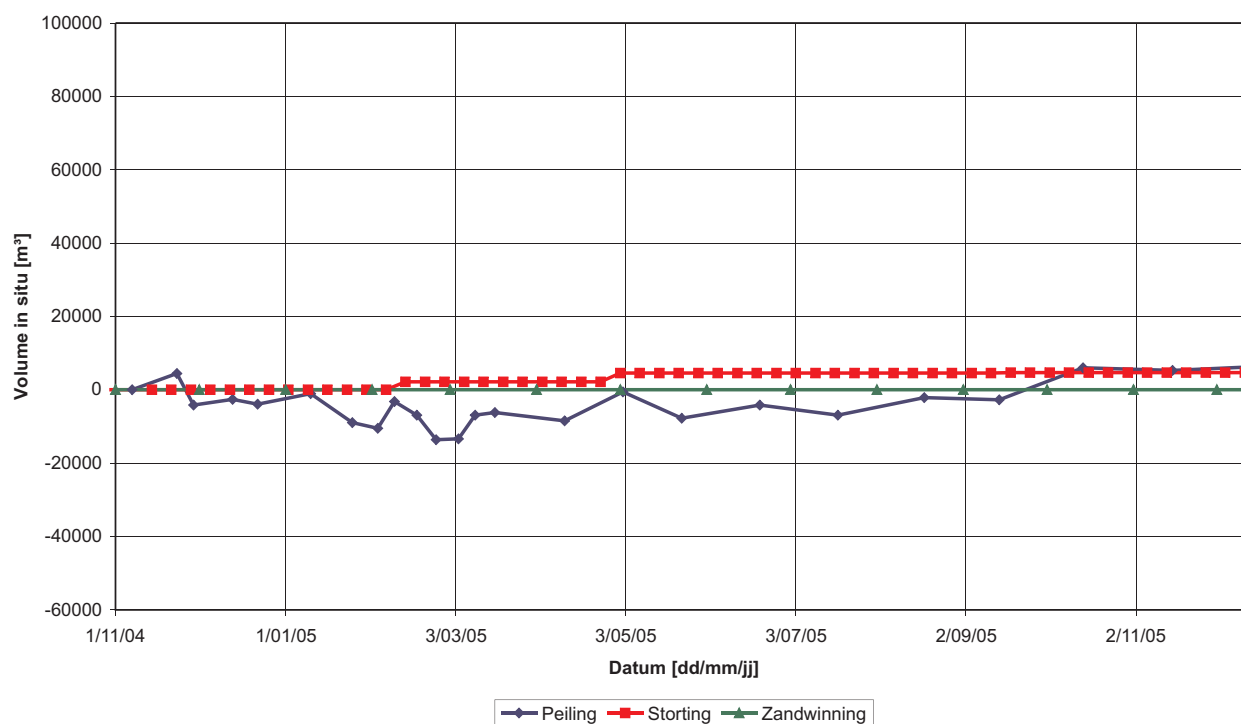


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

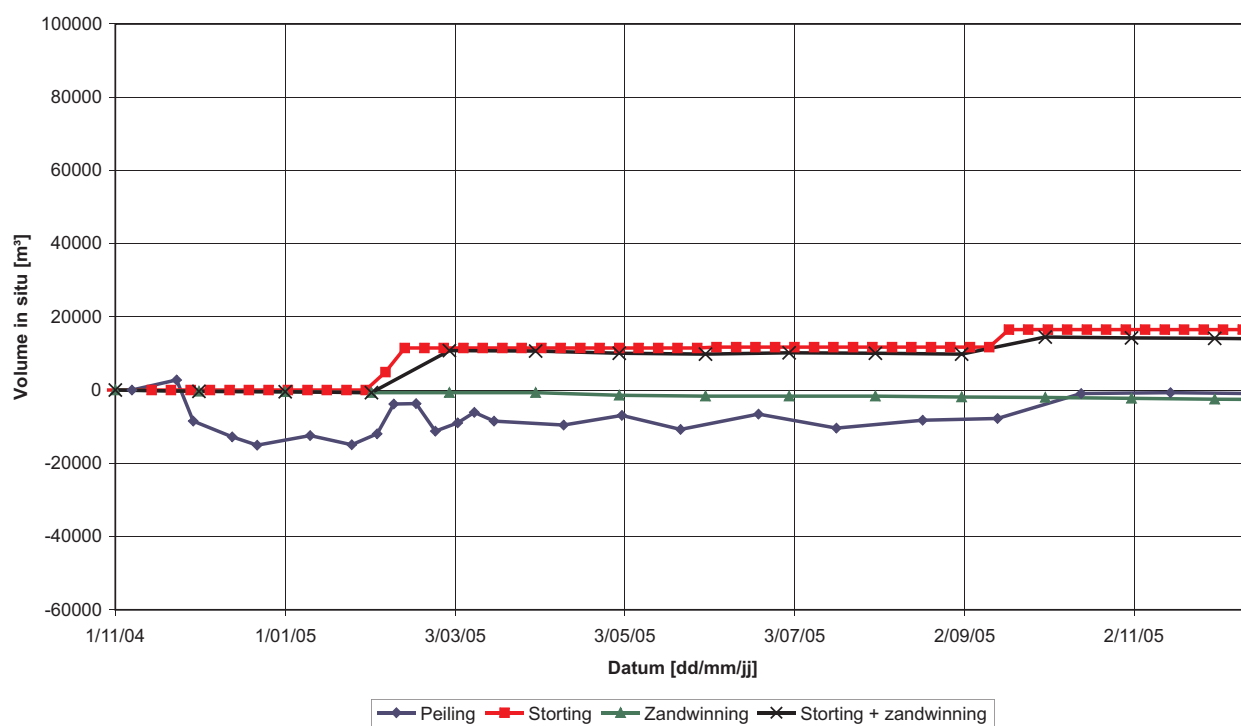
M 791/02

Figuur 167

Volumeberekening vak C5



Volumeberekening vak C6



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

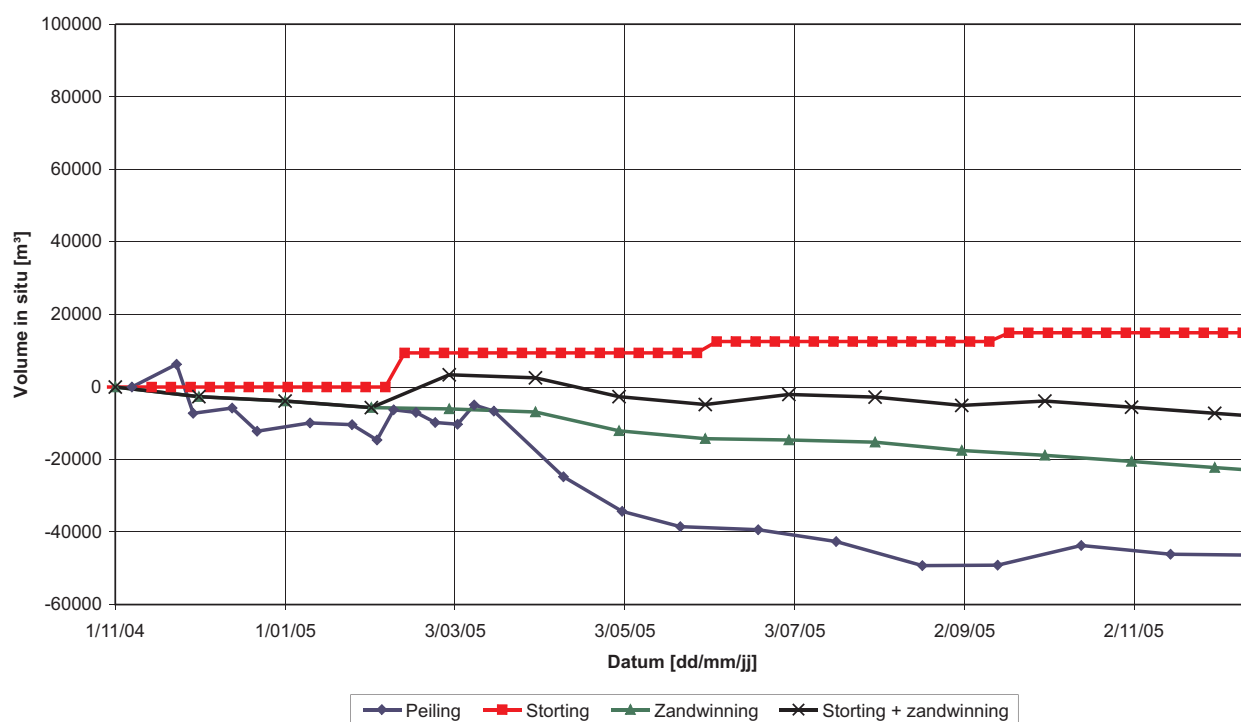


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

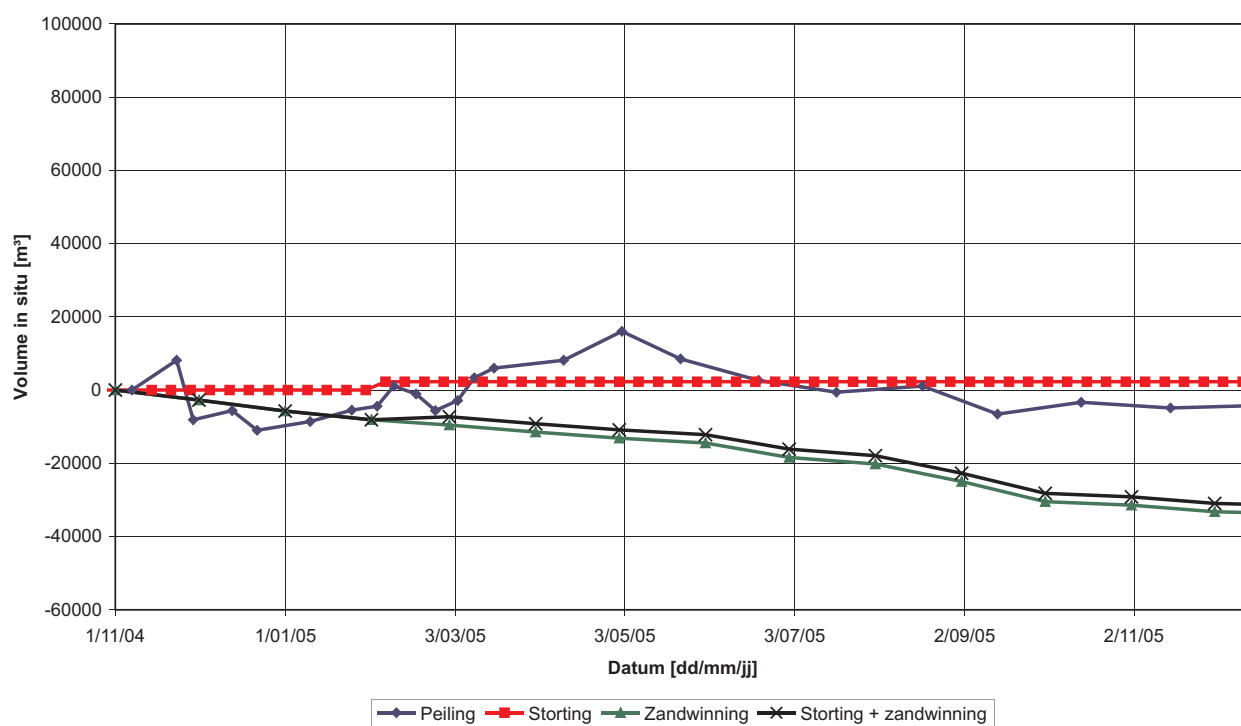
M 791/02

Figuur 168

Volumeberekening vak C7



Volumeberekening vak C8



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

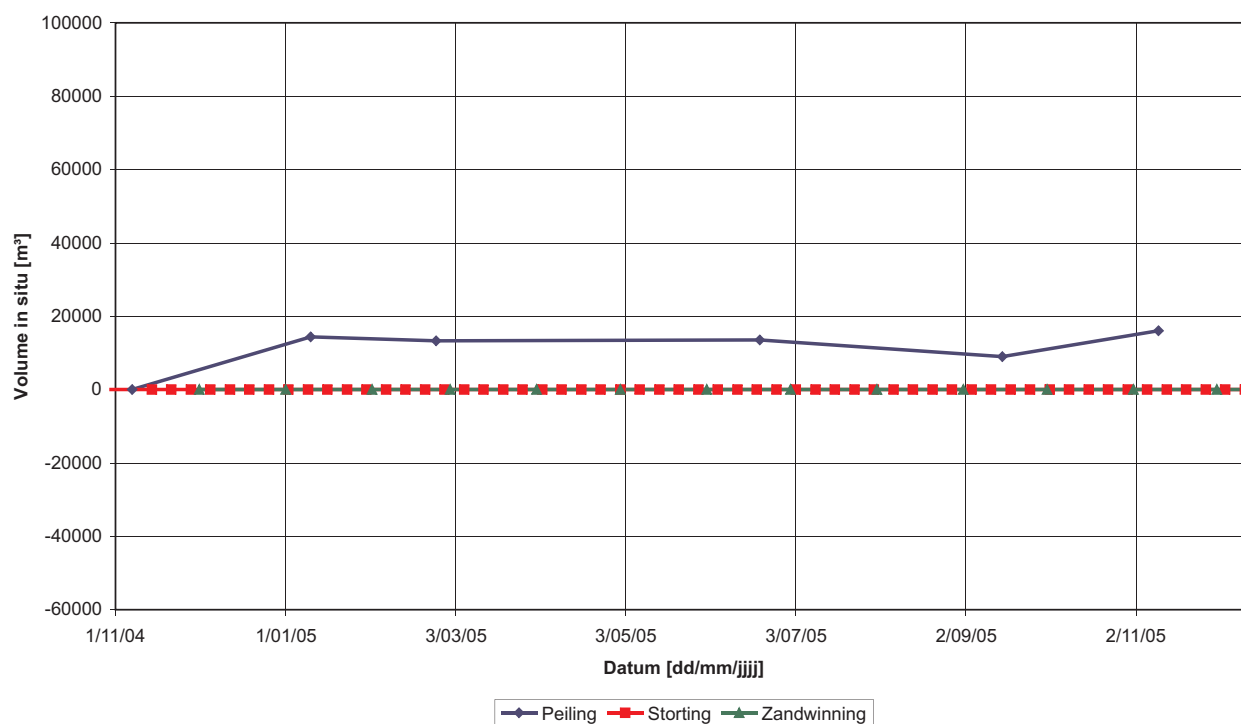


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

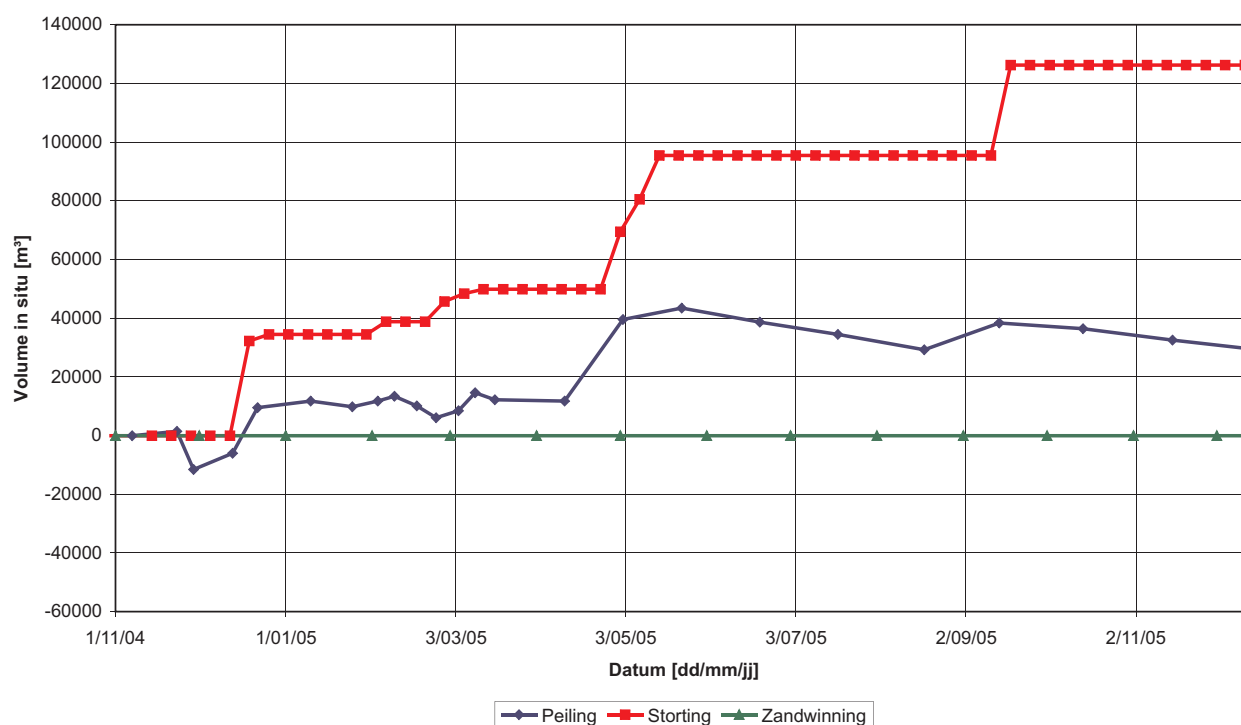
M 791/02

Figuur 169

Volumeberekening vak D1



Volumeberekening vak D2



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

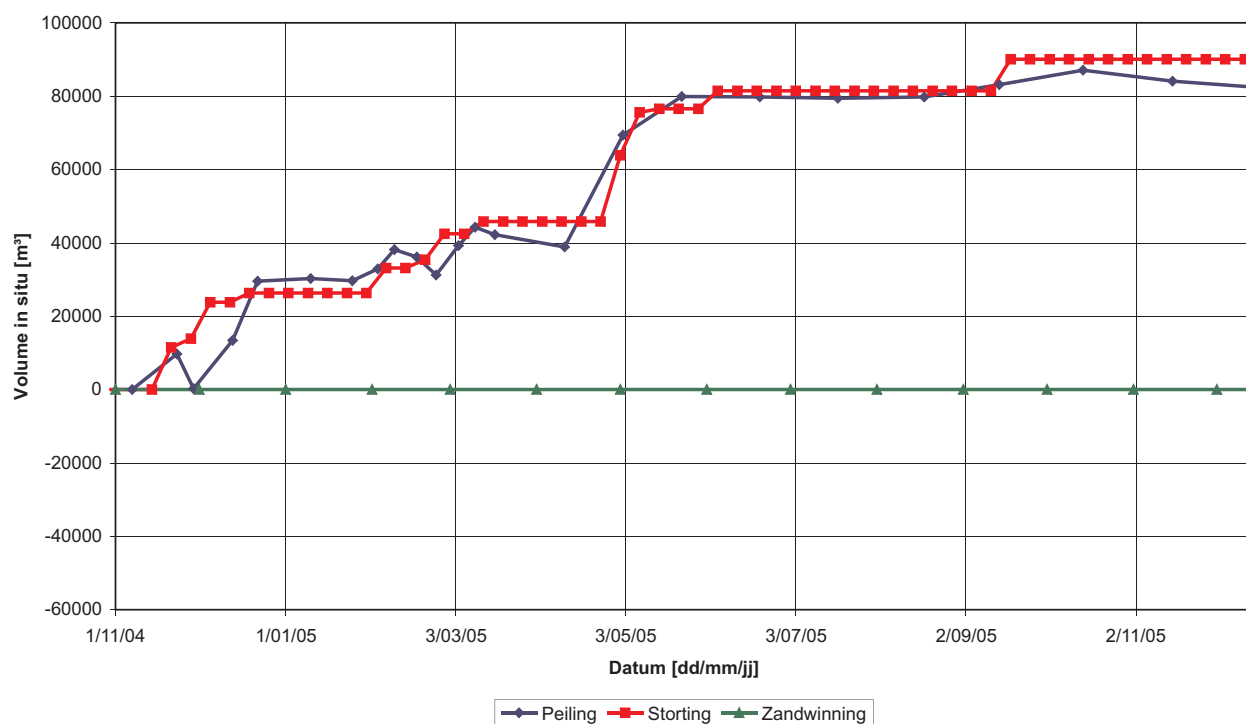


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

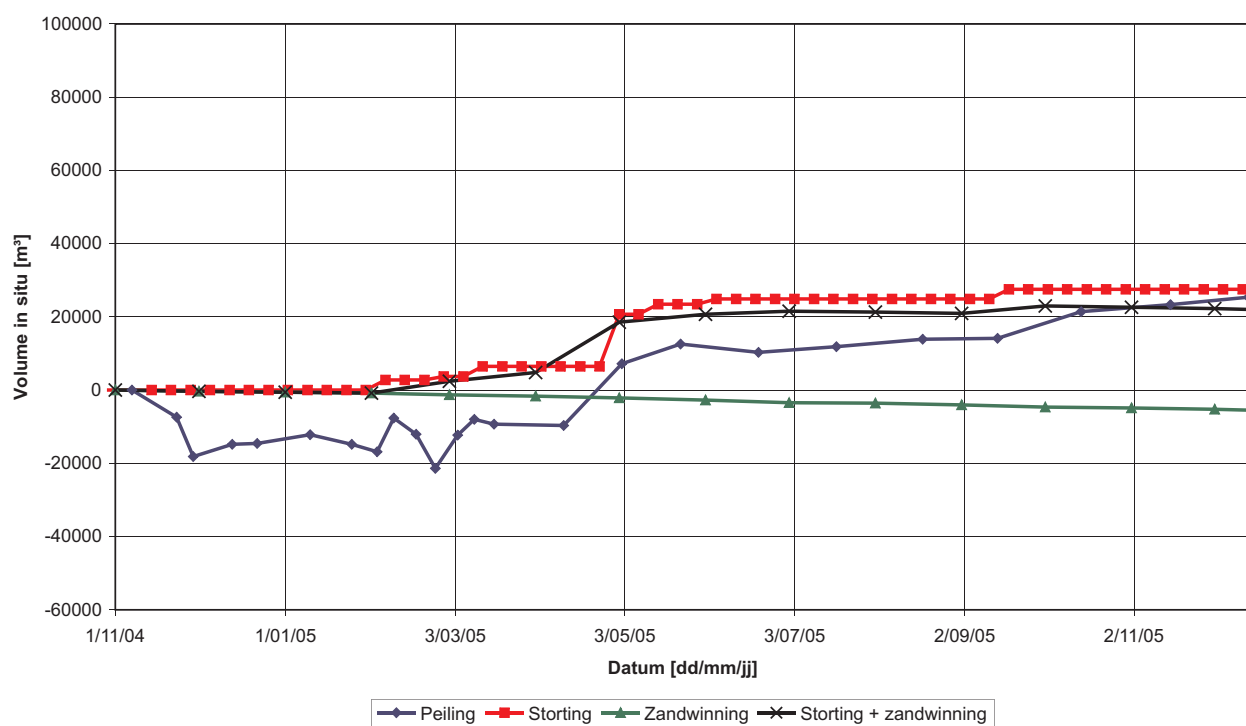
M 791/02

Figuur 170

Volumeberekening vak D3



Volumeberekening vak D4



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

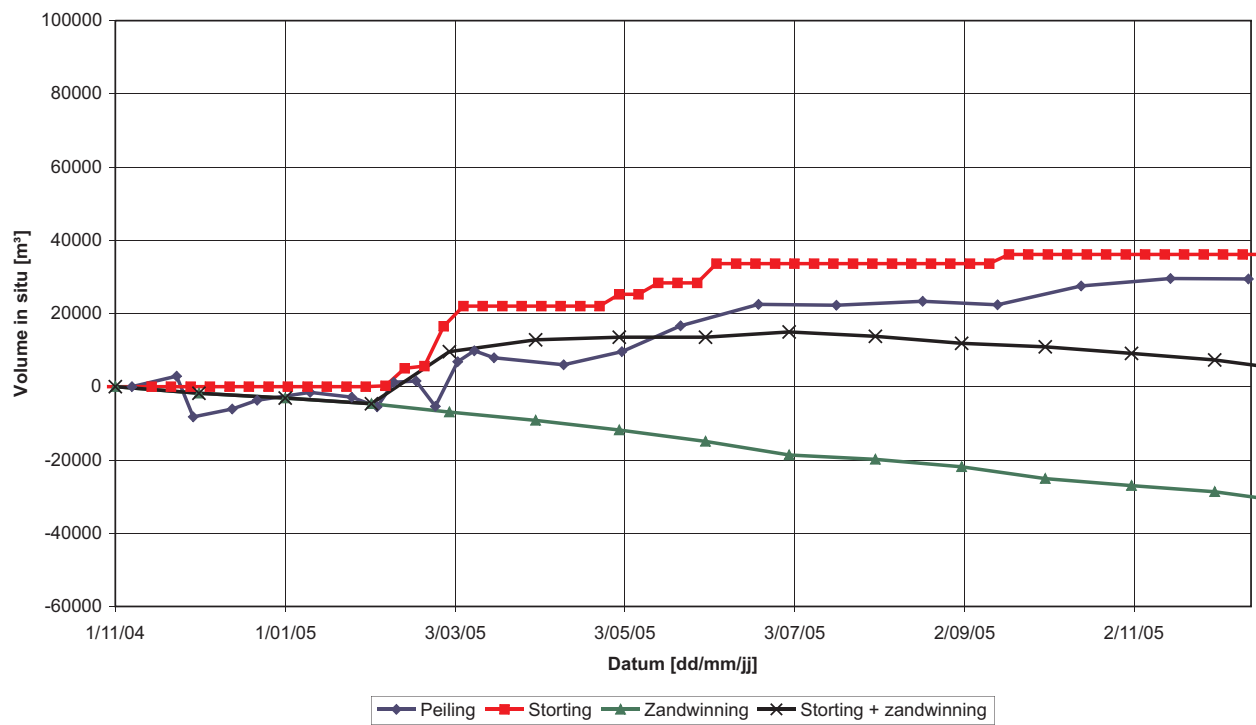


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

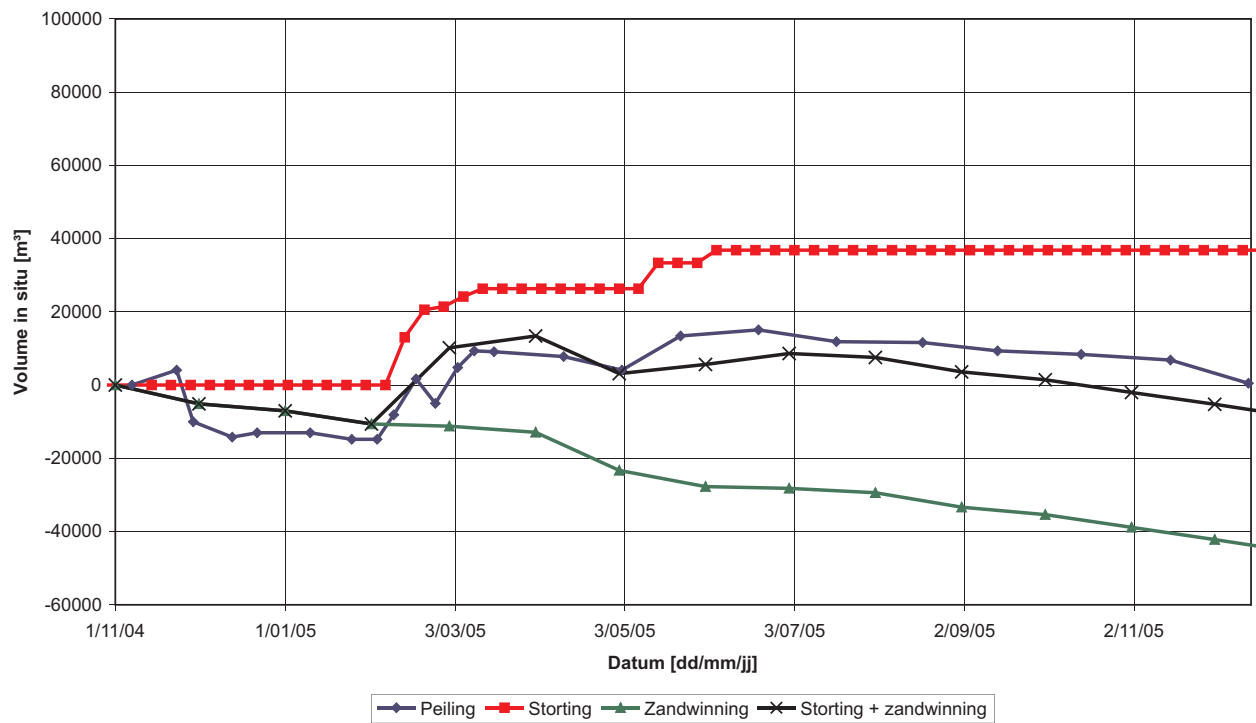
M 791/02

Figuur 171

Volumeberekening vak D5



Volumeberekening vak D6



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

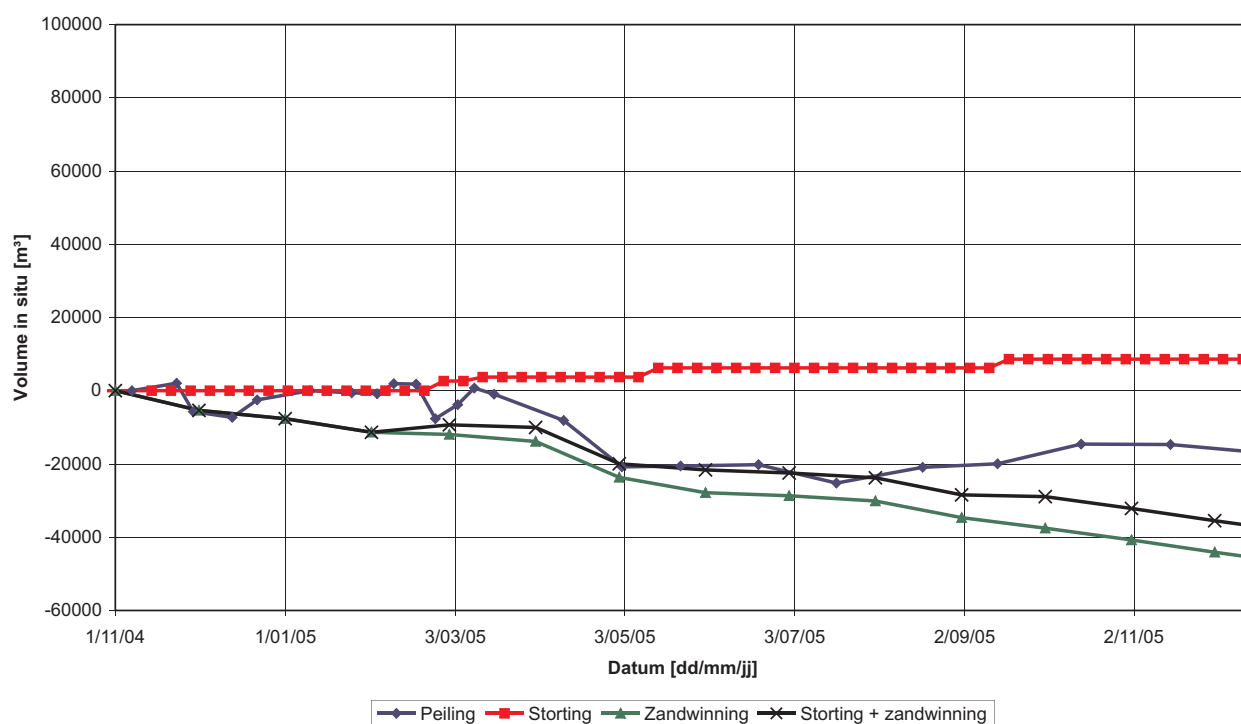


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

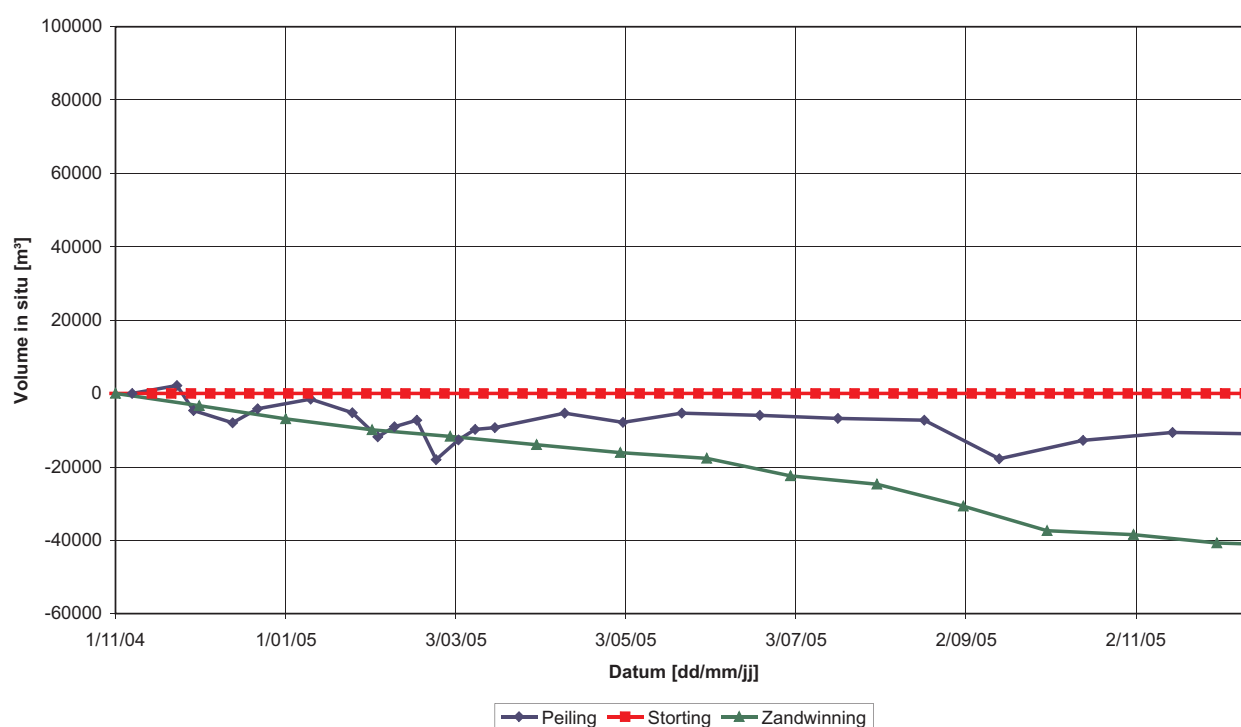
M 791/02

Figuur 172

Volumeberekening vak D7



Volumeberekening vak D8



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

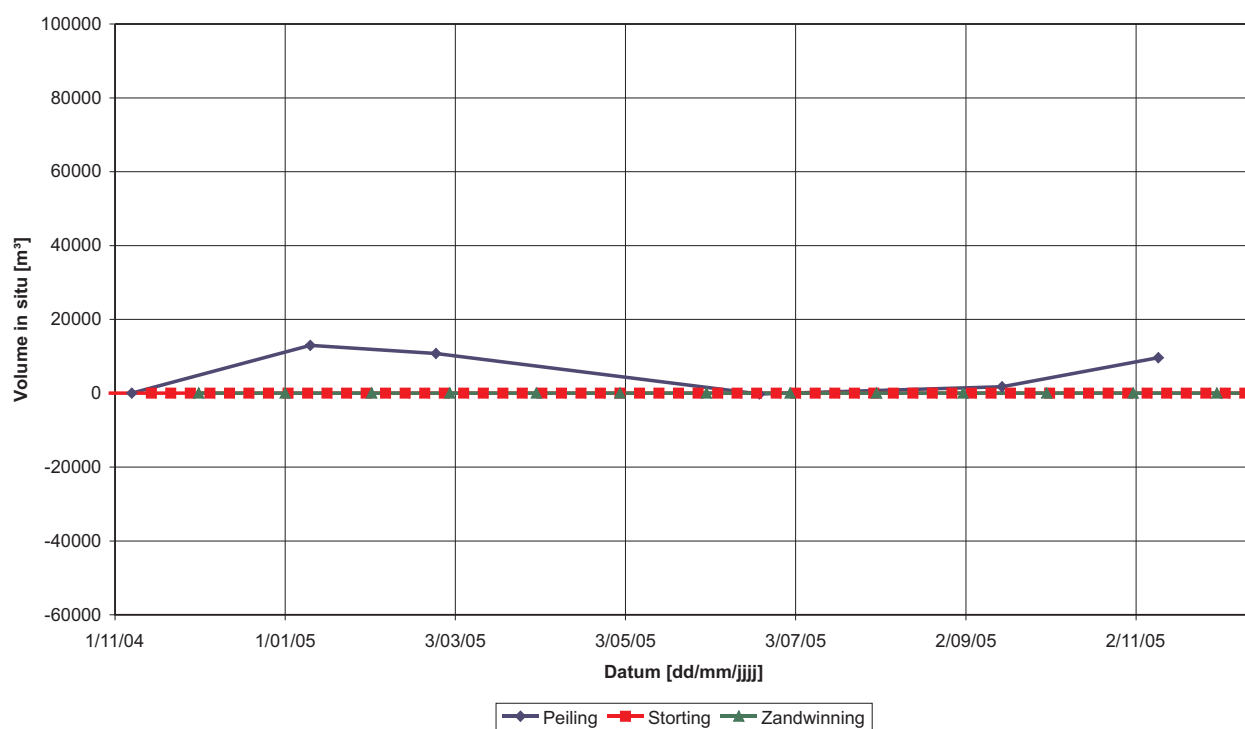


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

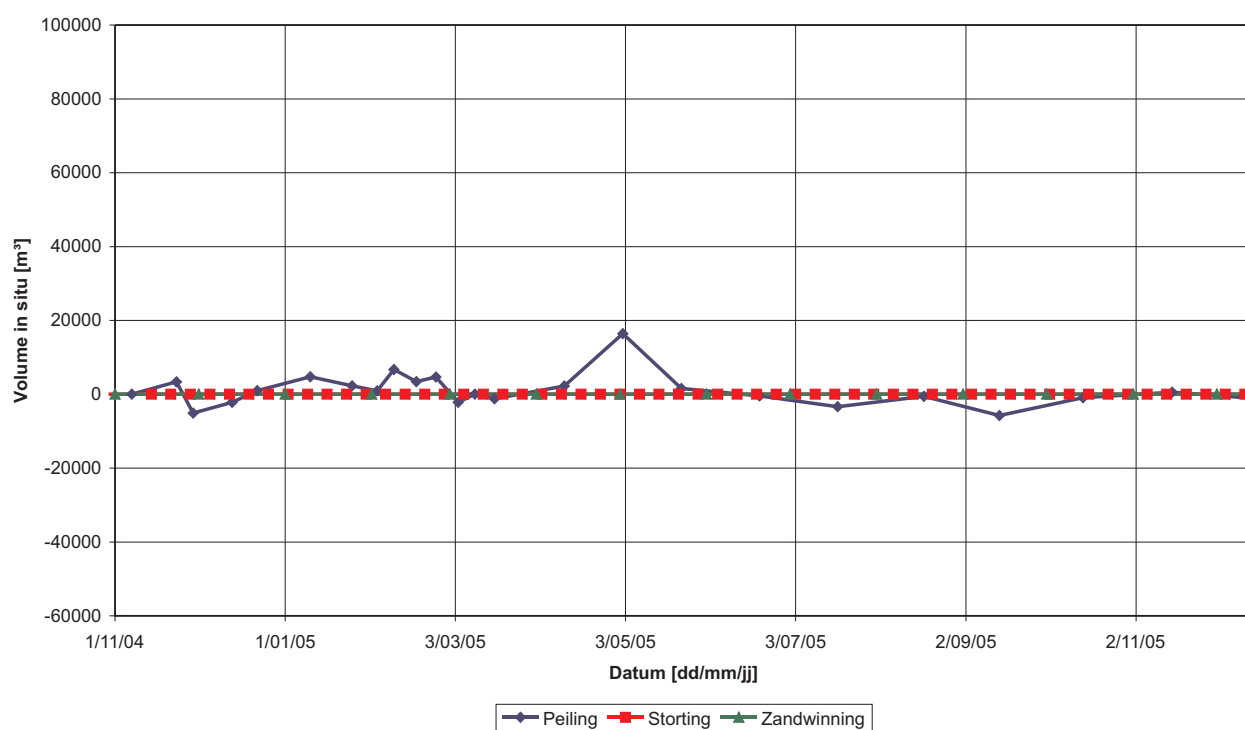
M 791/02

Figuur 173

Volumeberekening vak E1



Volumeberekening vak E2



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

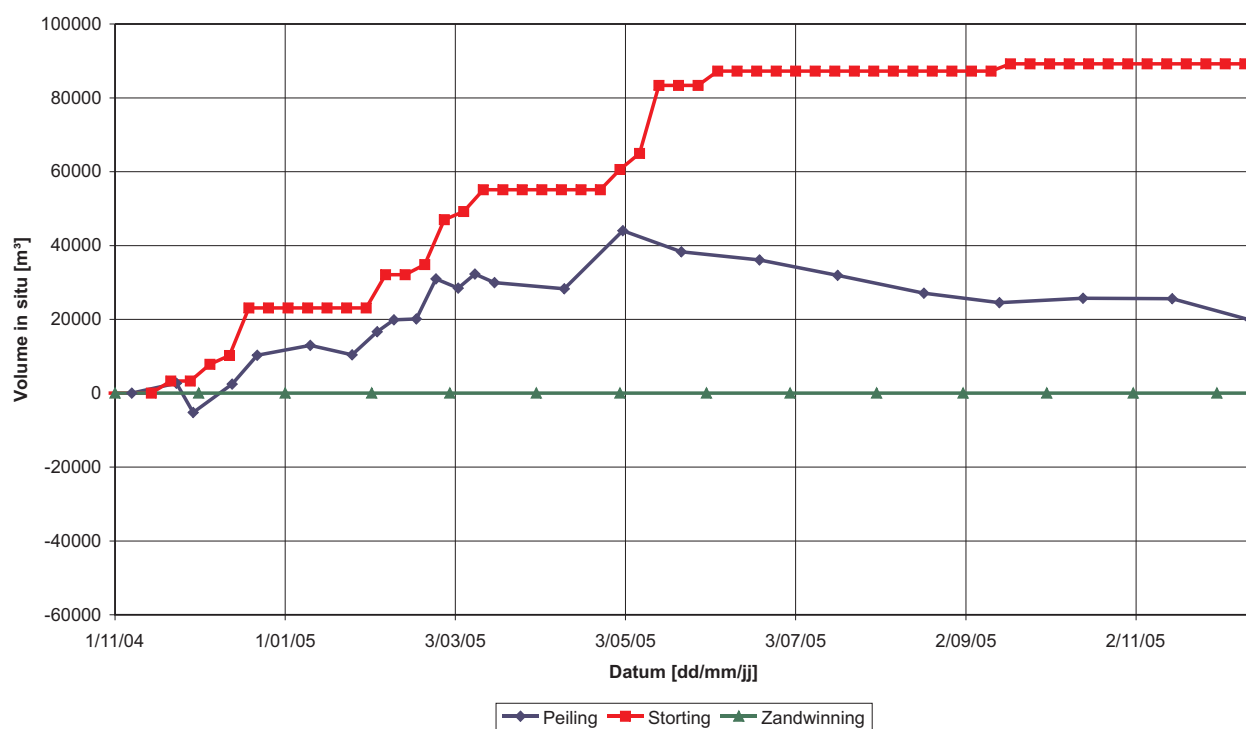


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

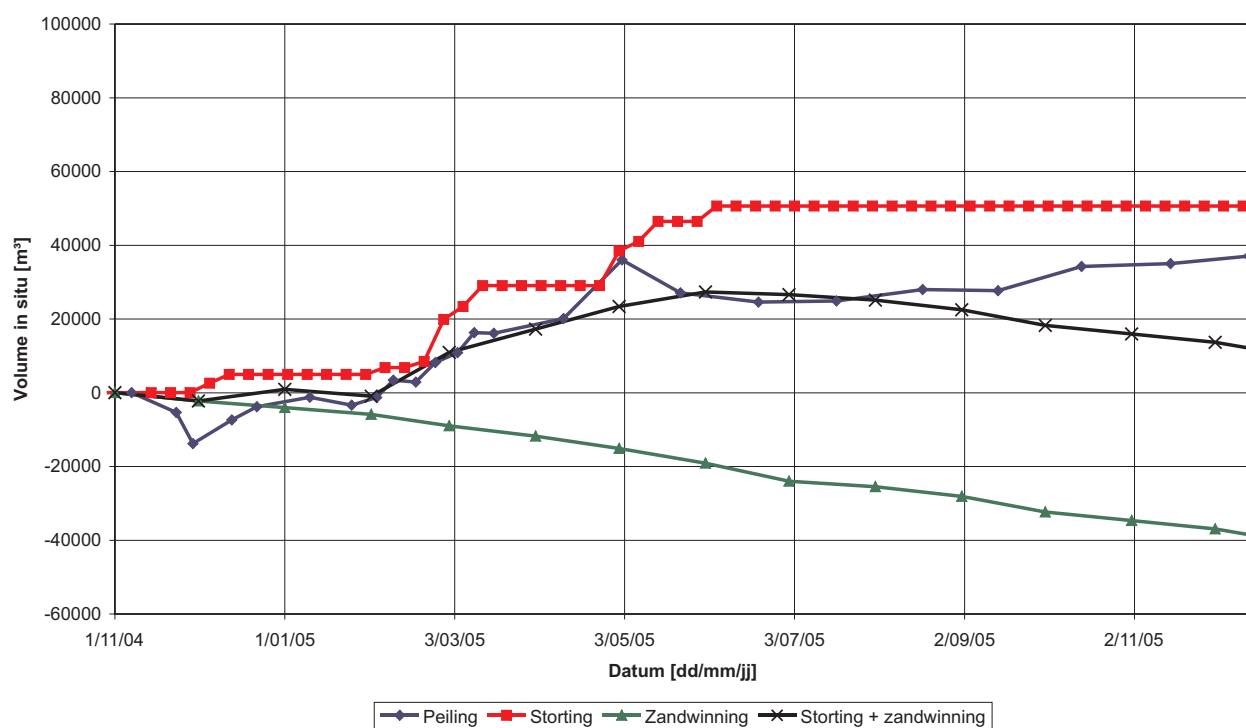
M 791/02

Figuur 174

Volumeberekening vak E3



Volumeberekening vak E4



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

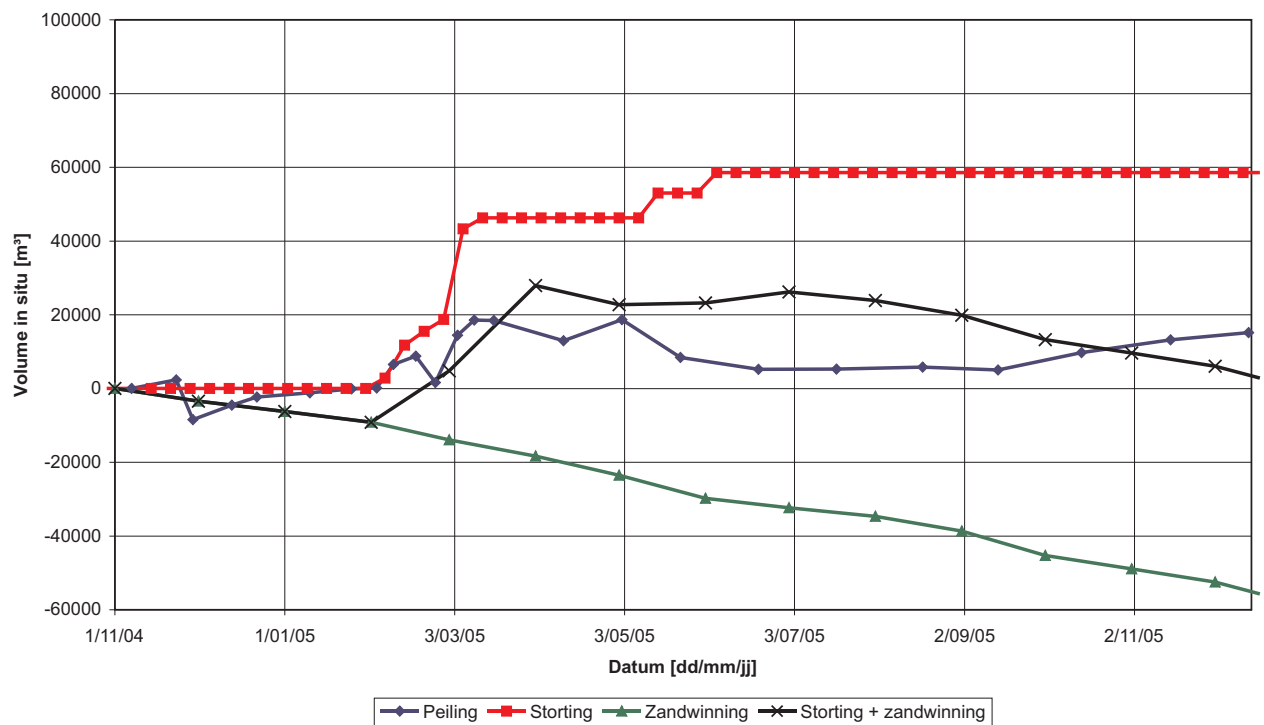


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

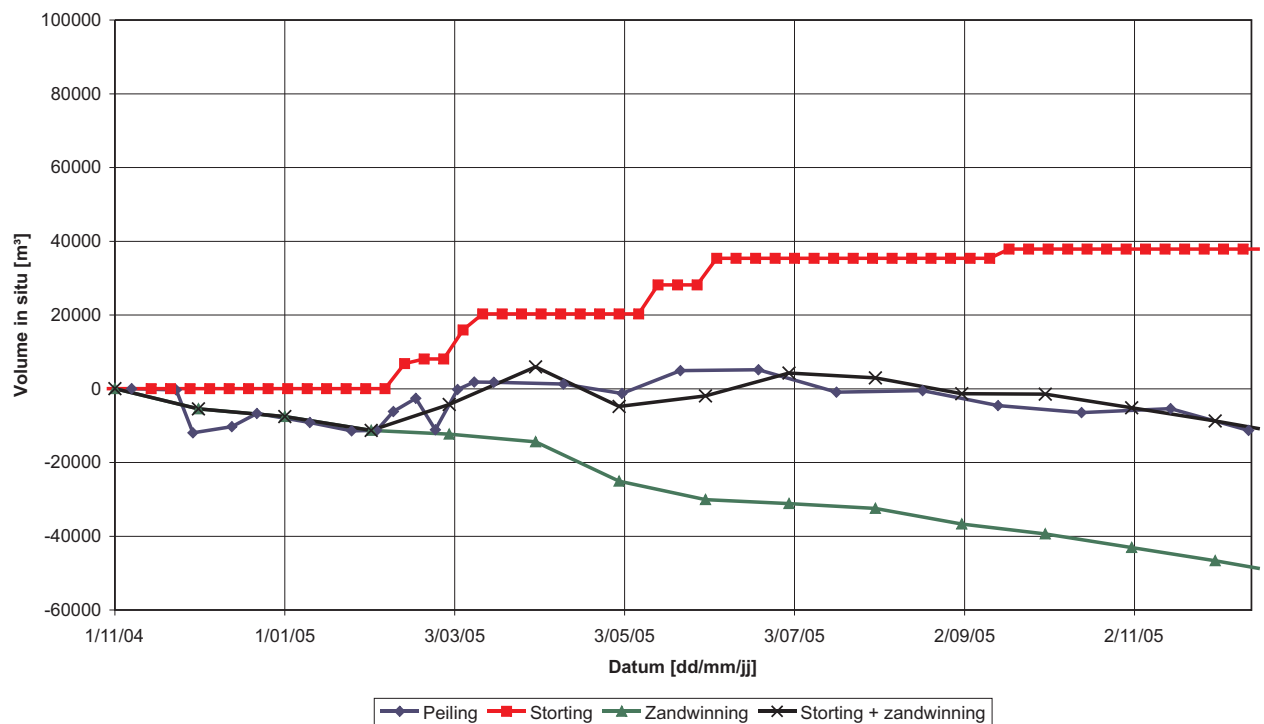
M 791/02

Figuur 175

Volumeberekening vak E5



Volumeberekening vak E6



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

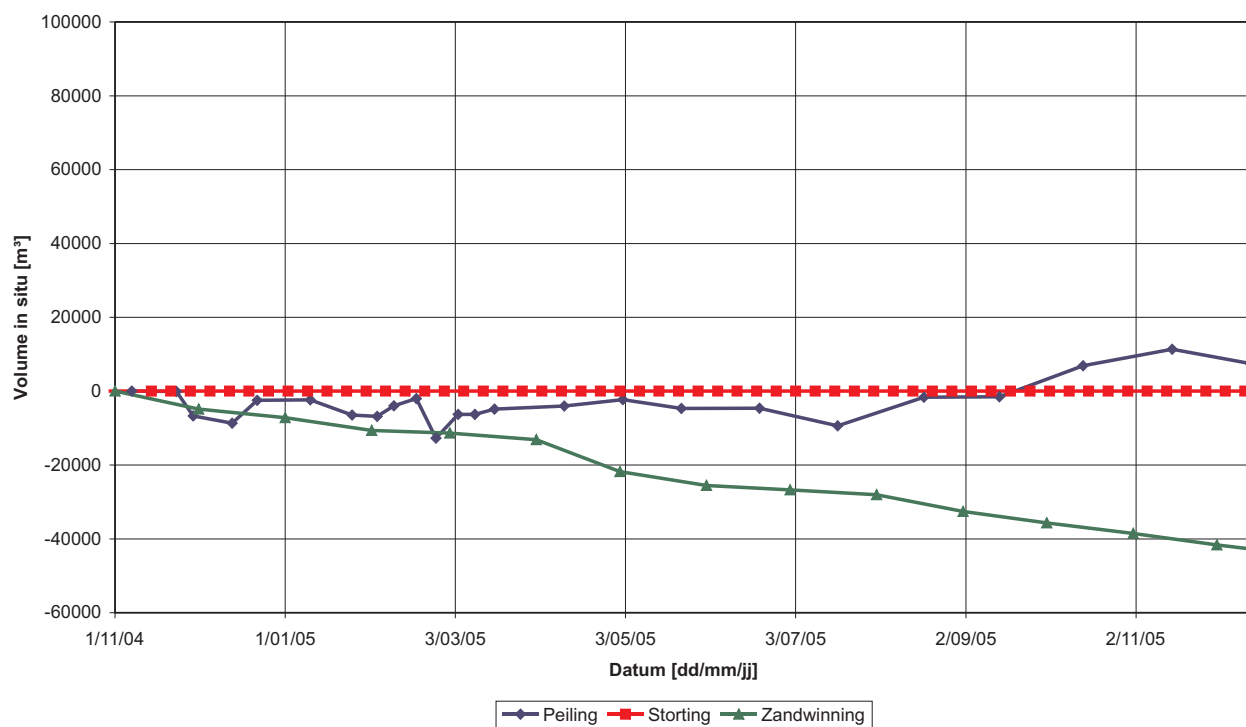


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

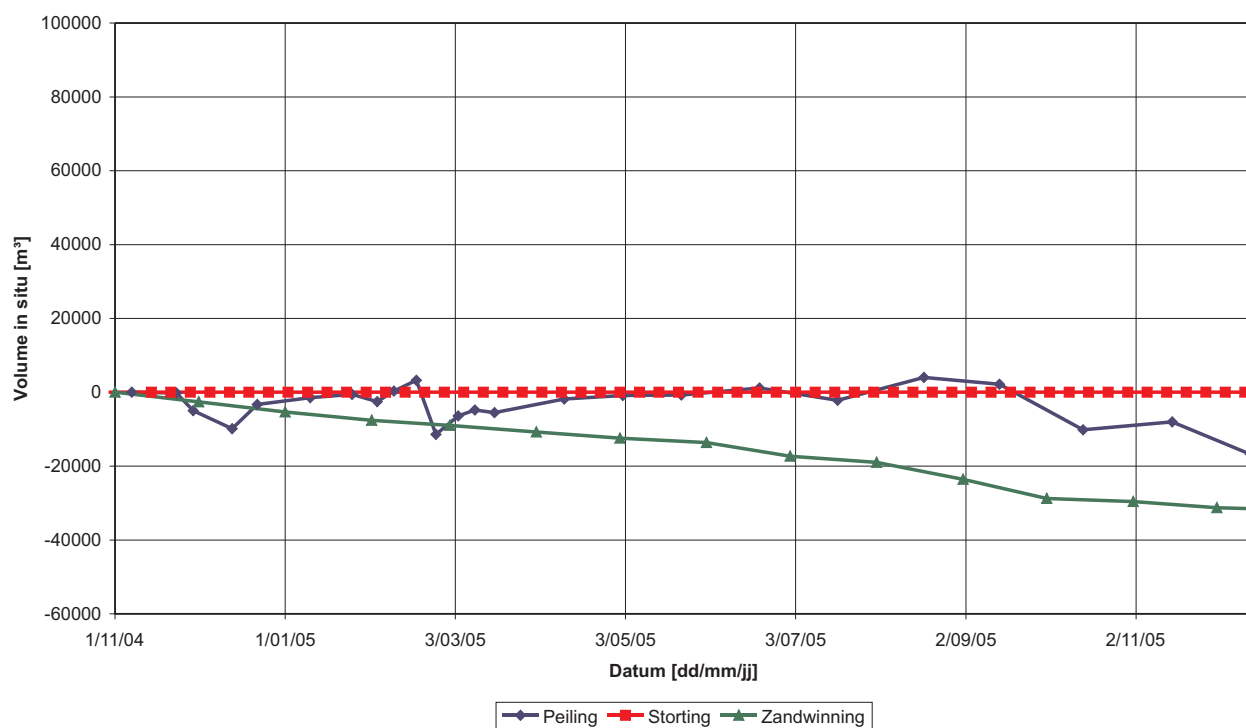
M 791/02

Figuur 176

Volumeberekening vak E7



Volumeberekening vak E8



Volumebalans individuele rekenvakken "Schaar van Waarde"

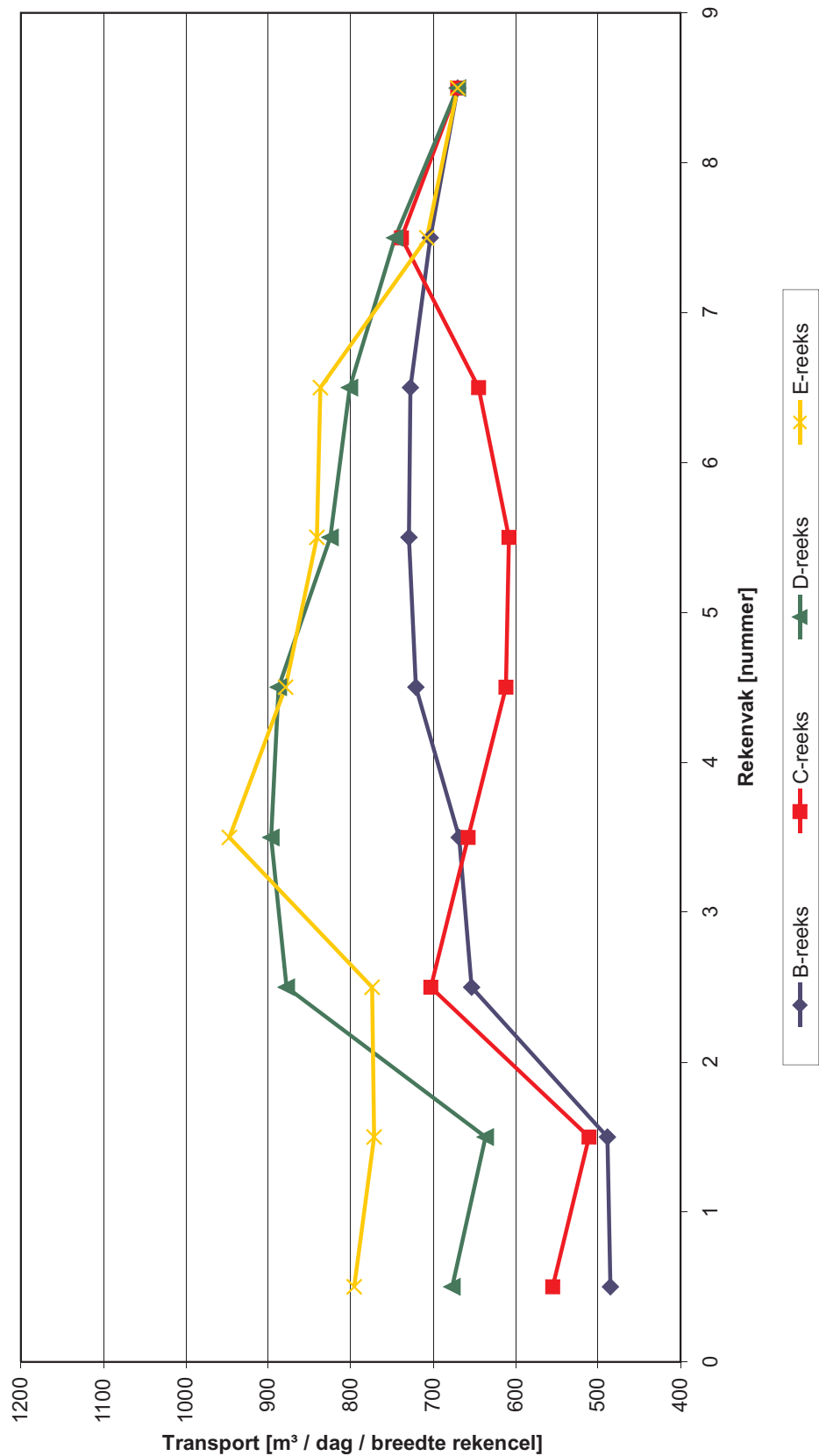
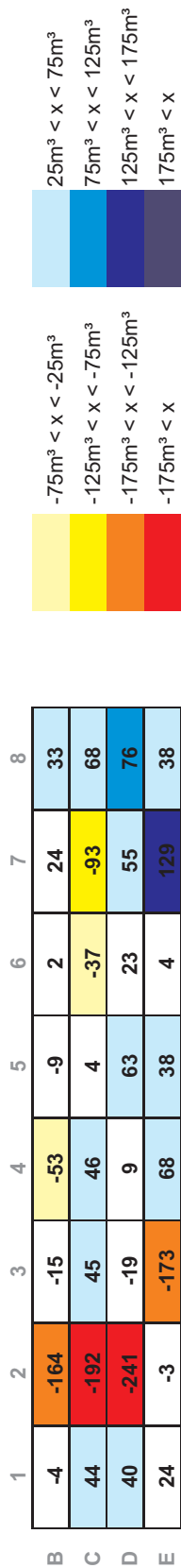


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

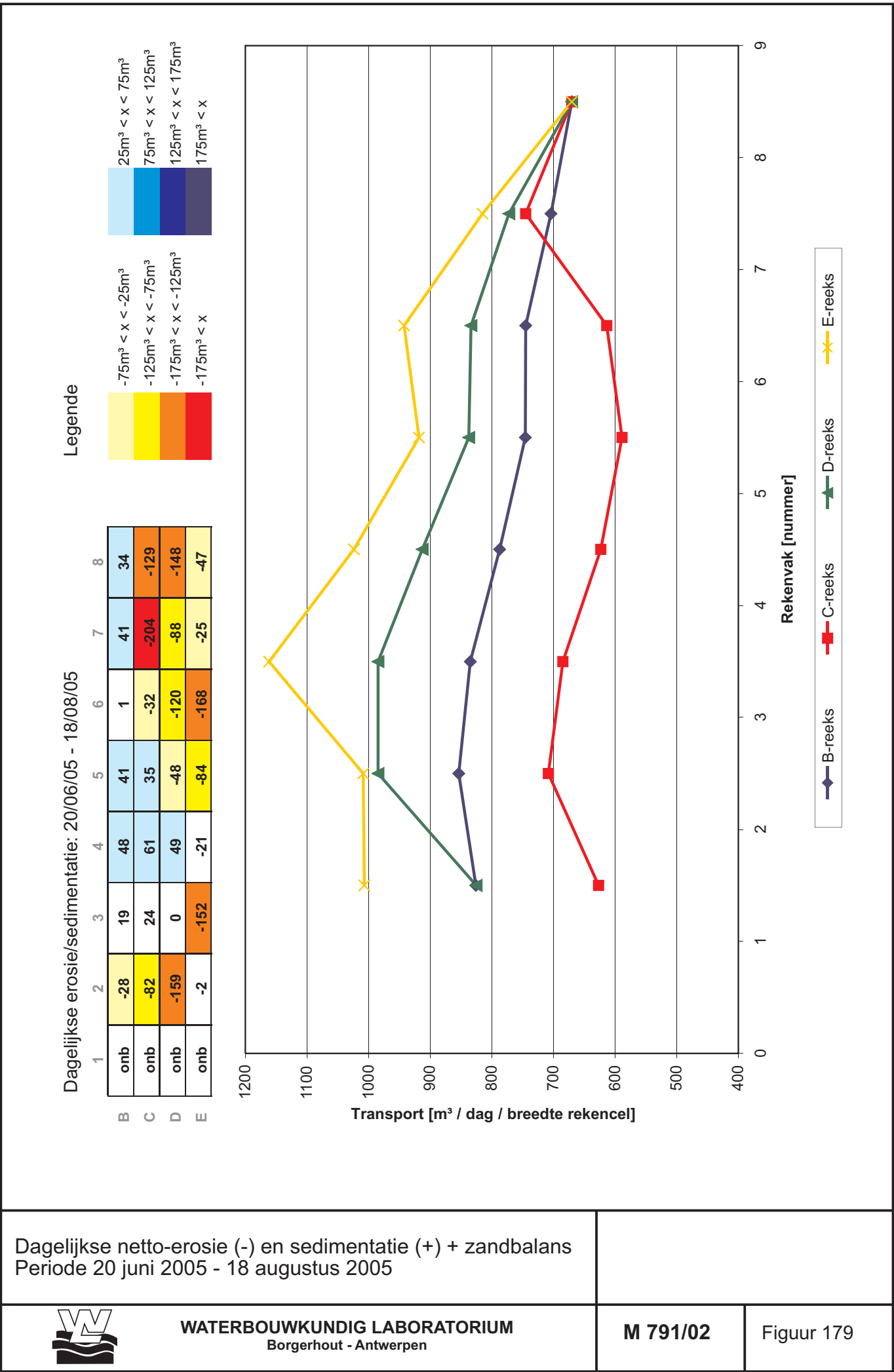
Figuur 177

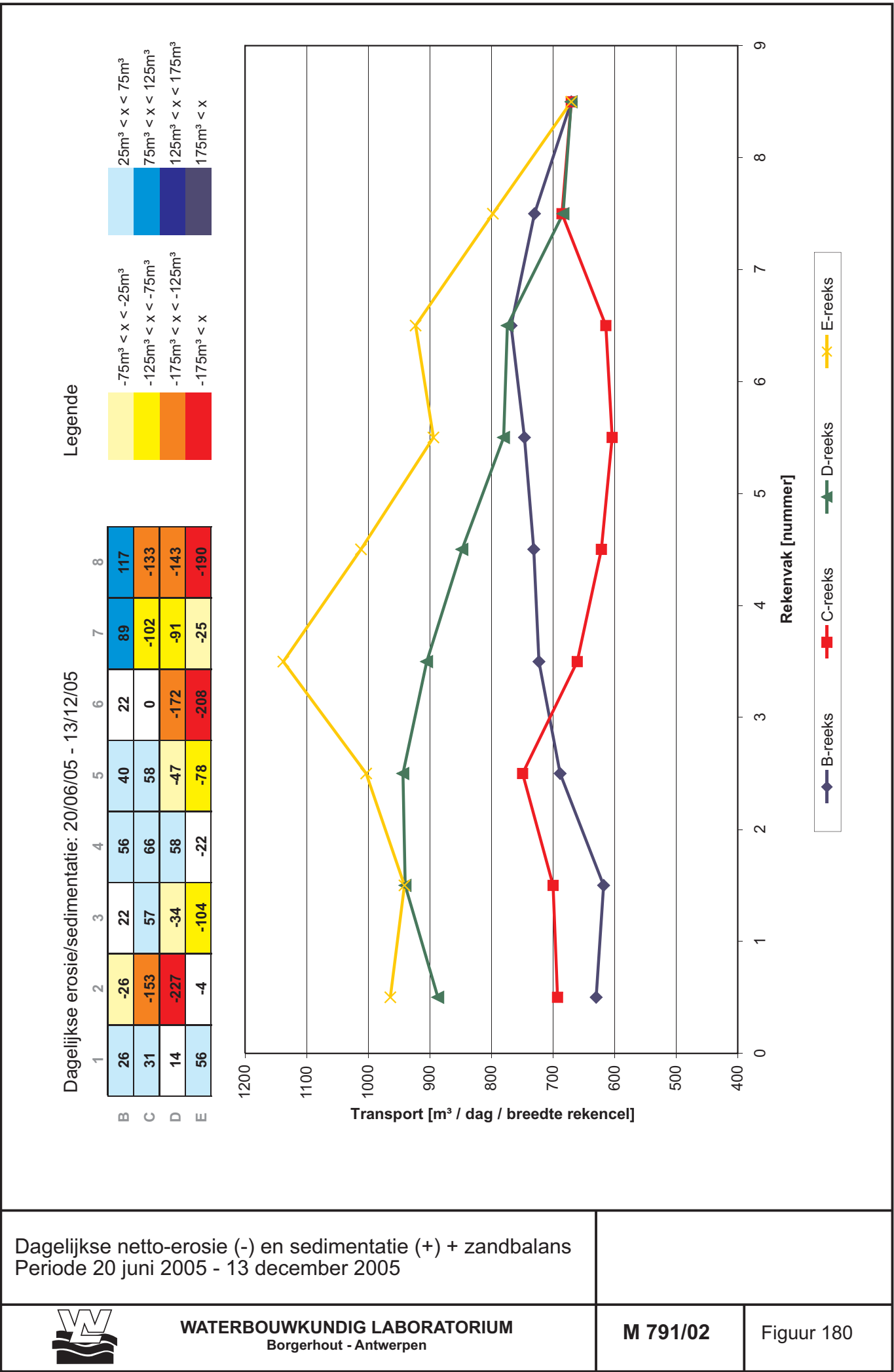
Dagelijkse erosie/sedimentatie: 7/11/04 - 13/12/05

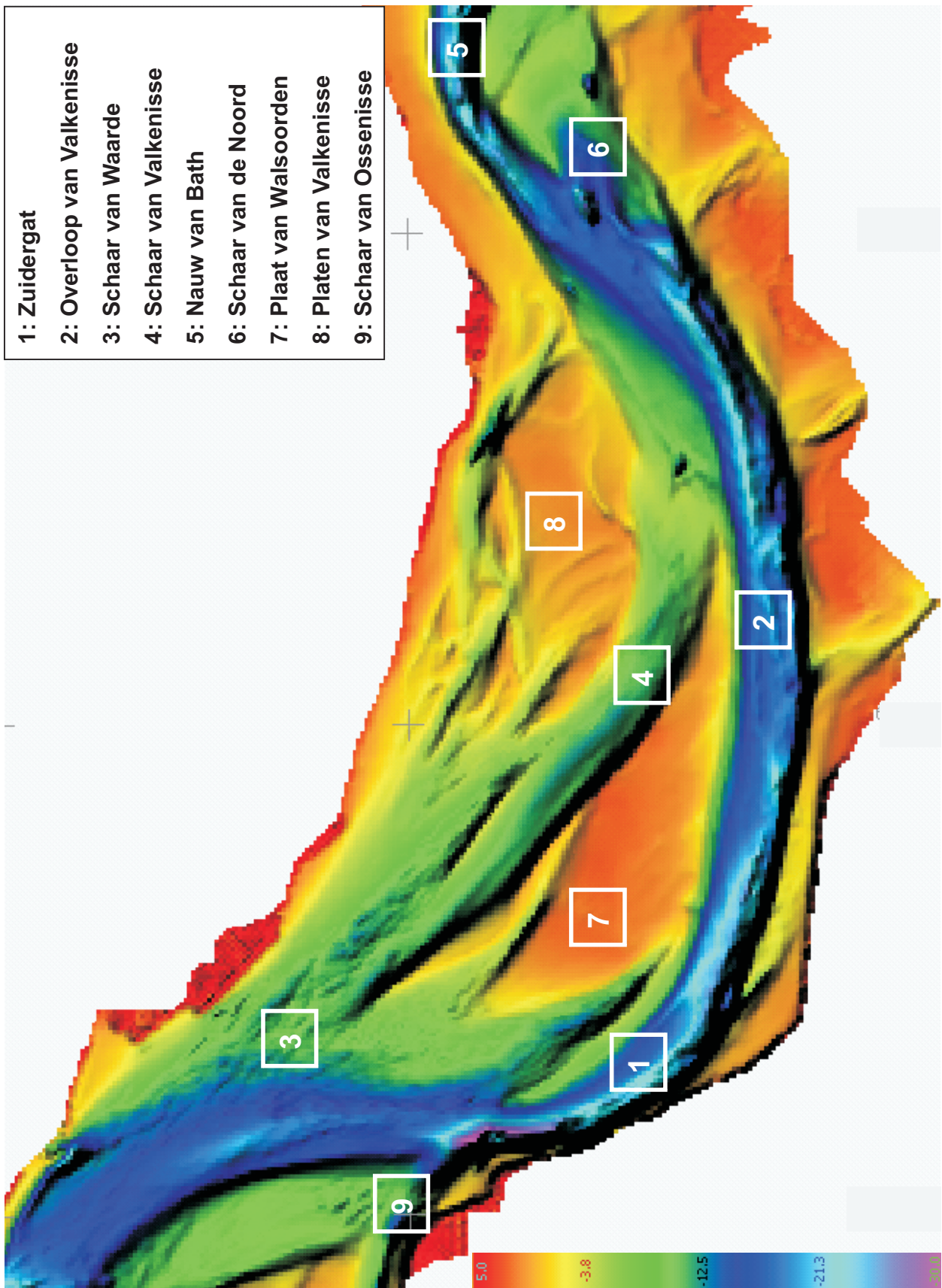


Dagelijkse netto-erosie (-) en sedimentatie (+) + zandbalans
Periode 7 november 2005 - 13 december 2005









Naamgeving platen en geulen Wersterschelde zone A

Verticale schaal: m GLLWS





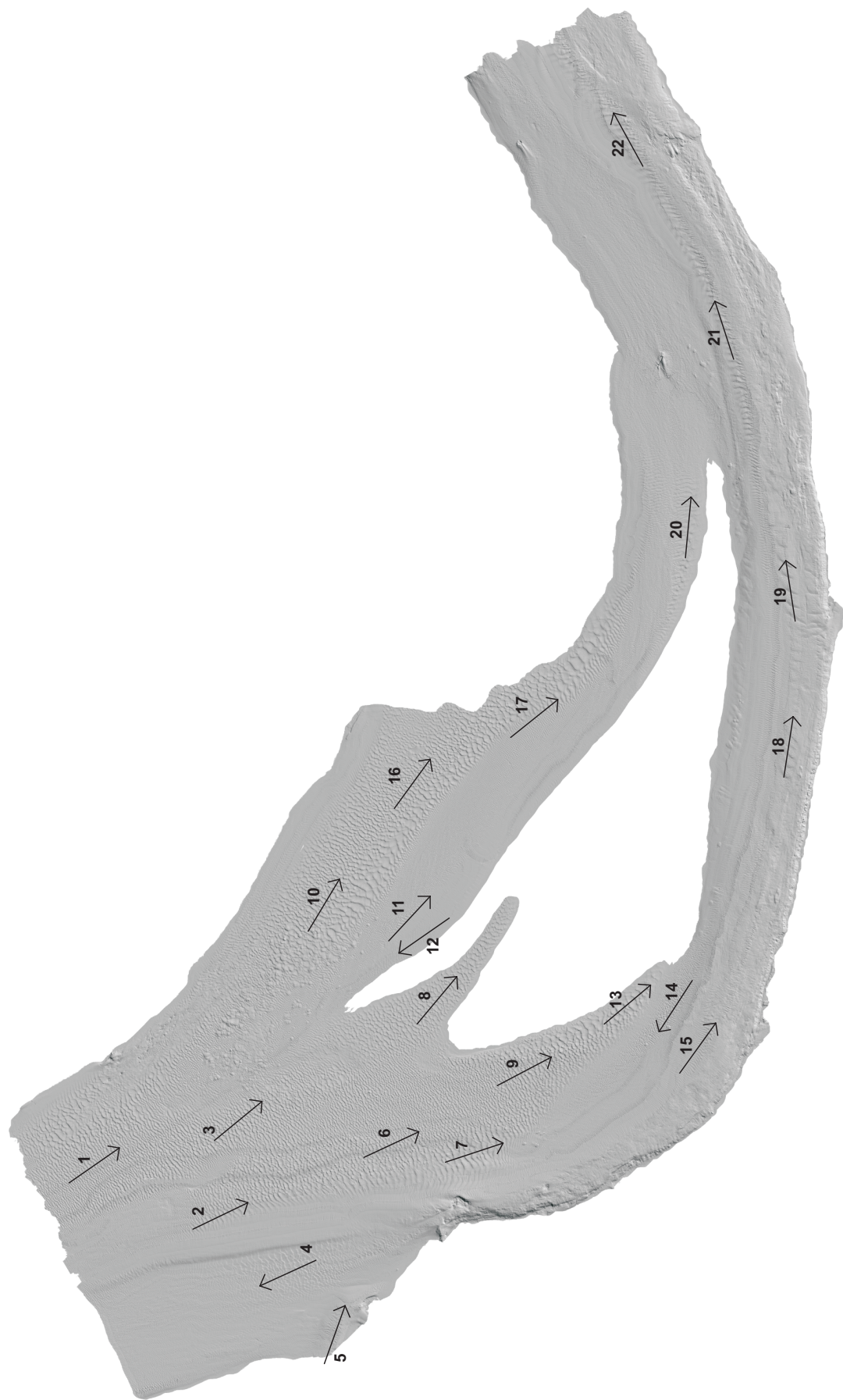
Visualisatie bodemvormen zone A



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 182



Visuele voorstelling transport bodemvormen

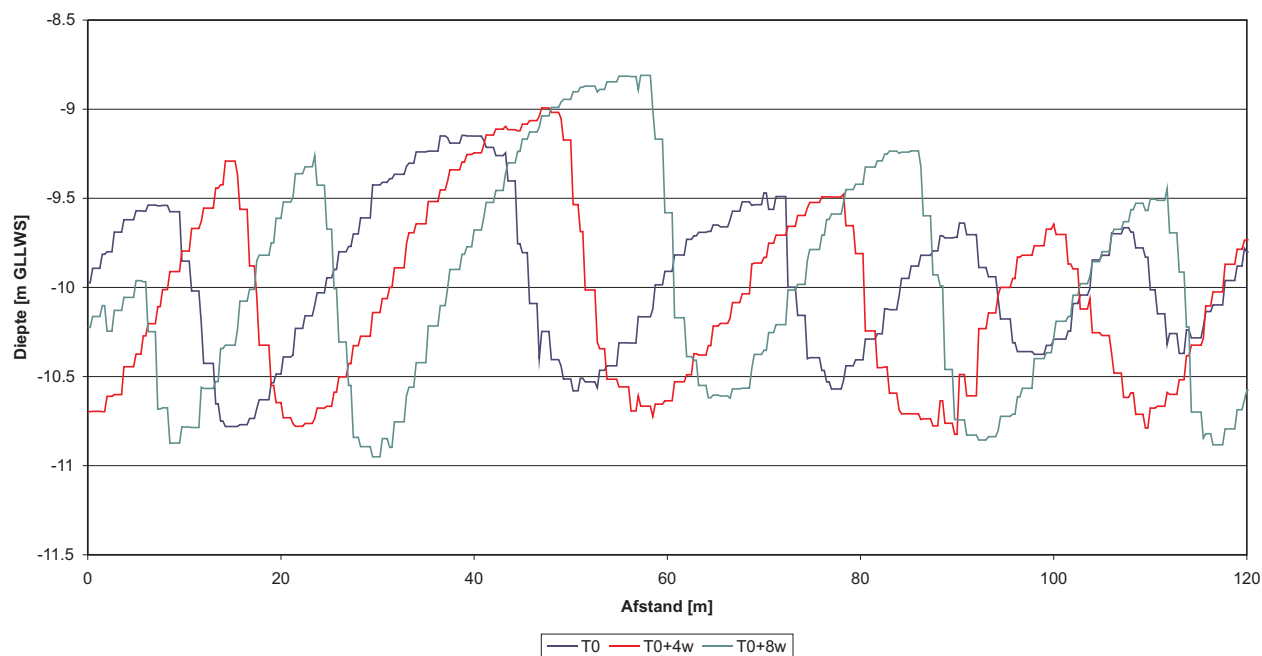


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

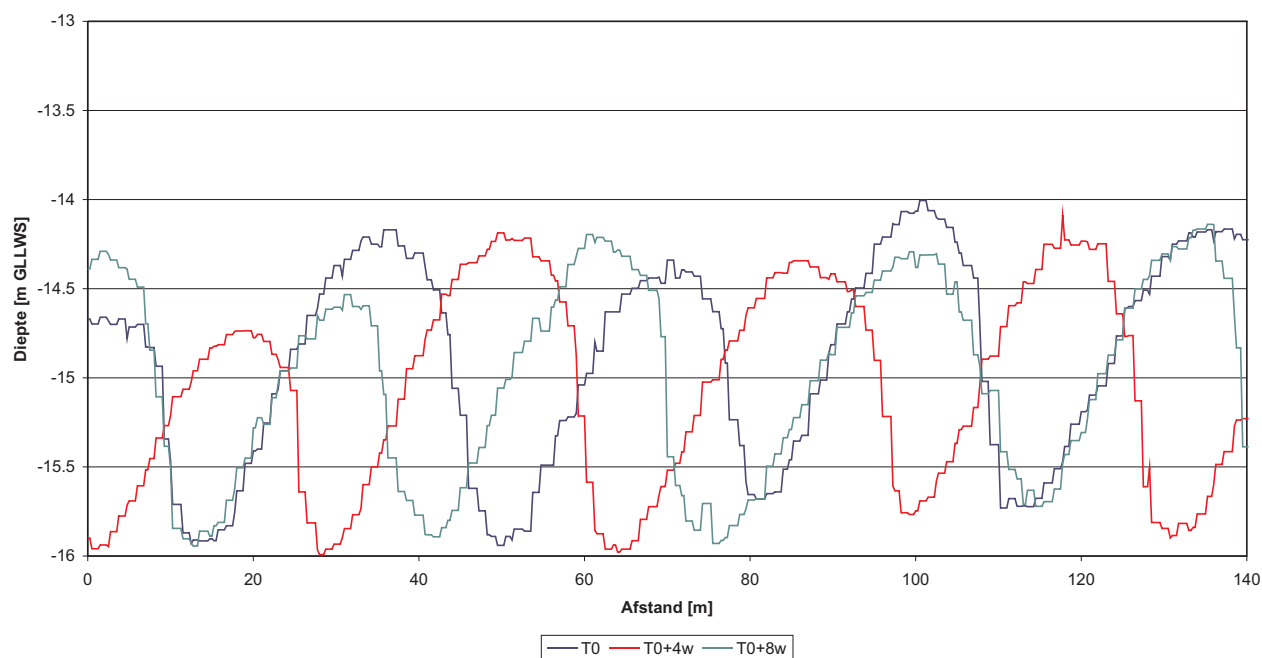
M 791/02

Figuur 183

Bodemvormen duinlocatie 1



Bodemvormen duinlocatie 2



Voortplanting bodemvormen individuele langszraaien

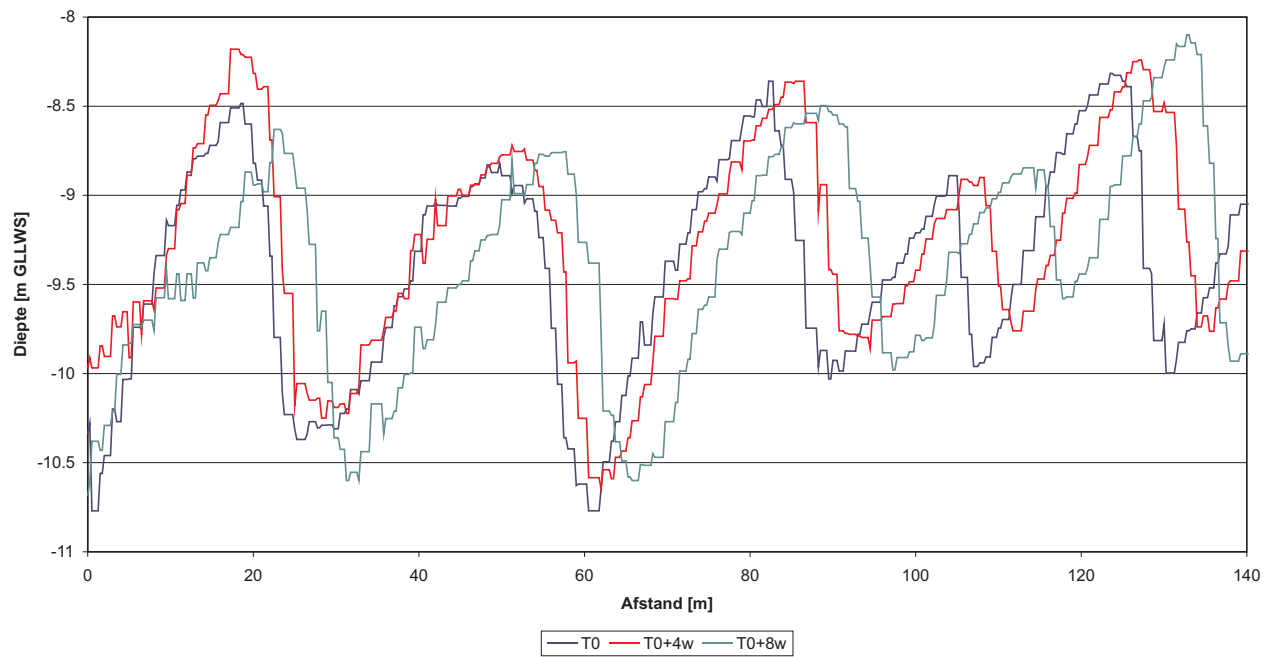


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

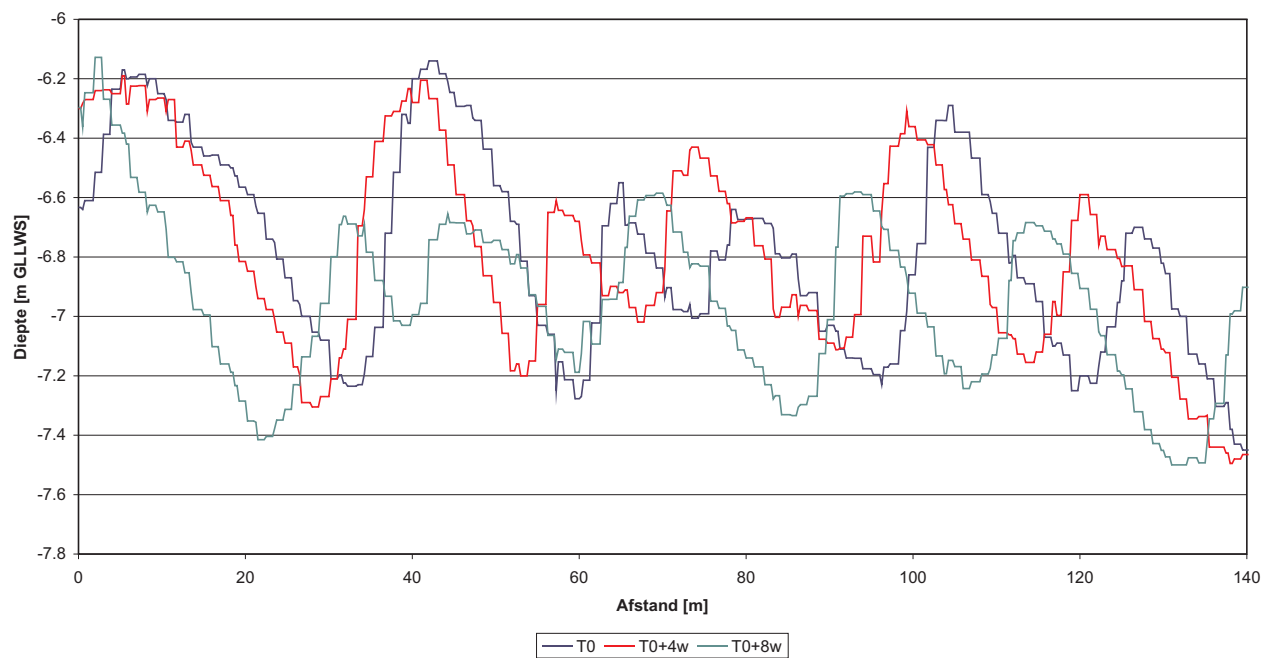
M 791/02

Figuur 184

Bodemvormen duinlocatie 3



Bodemvormen duinlocatie 4



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen

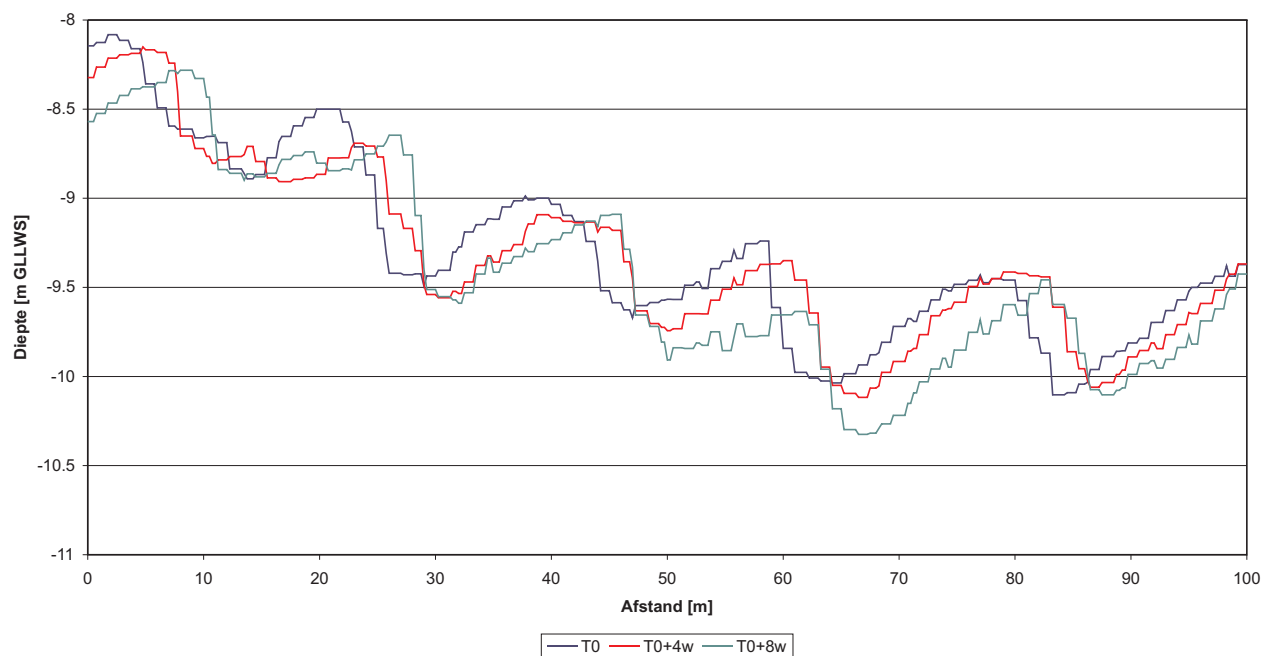


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

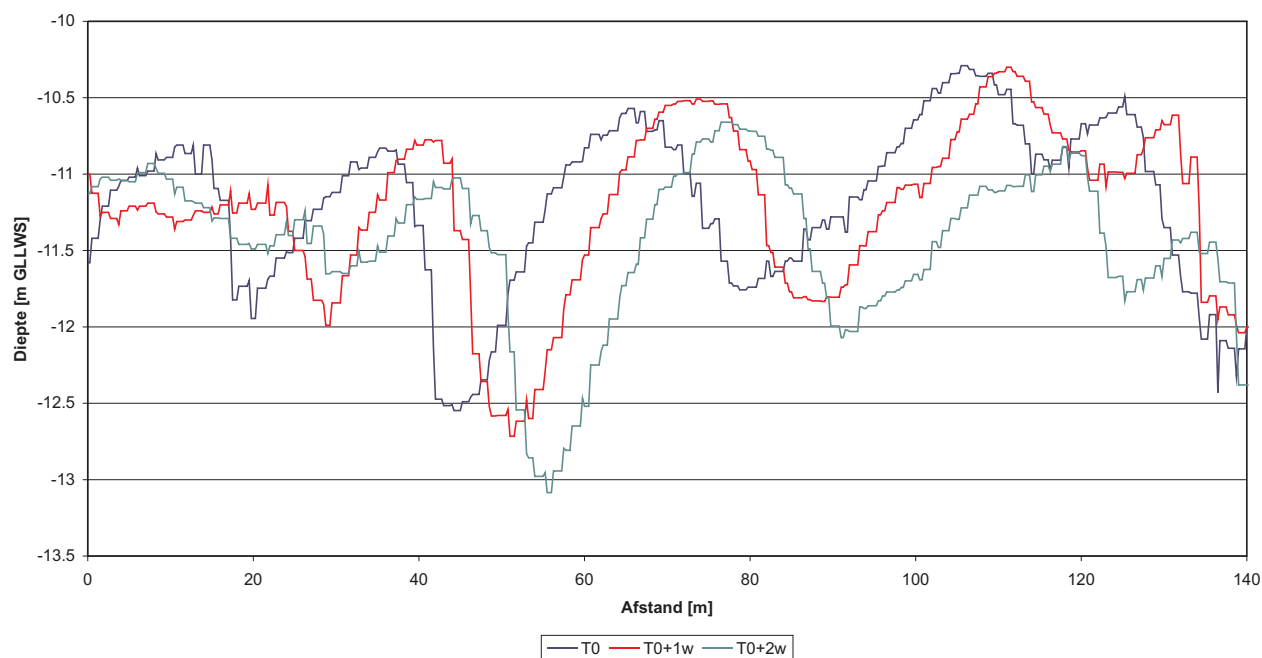
M 791/02

Figuur 185

Bodemvormen duinlocatie 5



Bodemvormen duinlocatie 6



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen

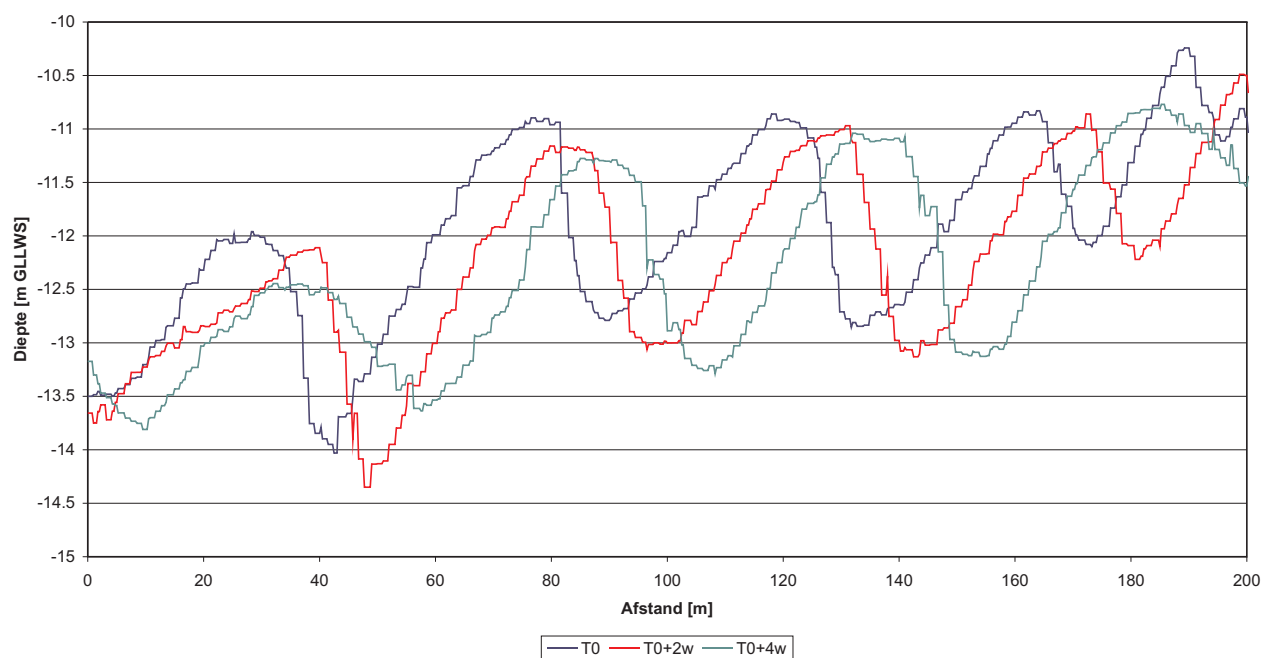


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

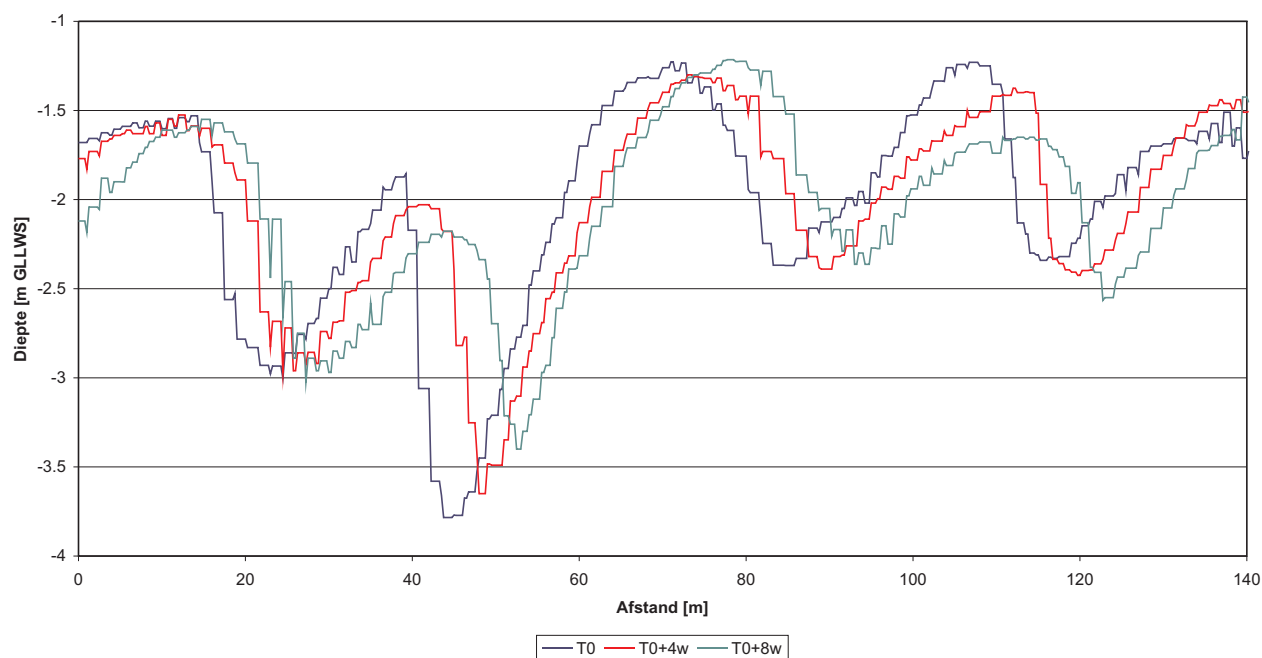
M 791/02

Figuur 186

Bodemvormen duinlocatie 7



Bodemvormen duinlocatie 8



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen

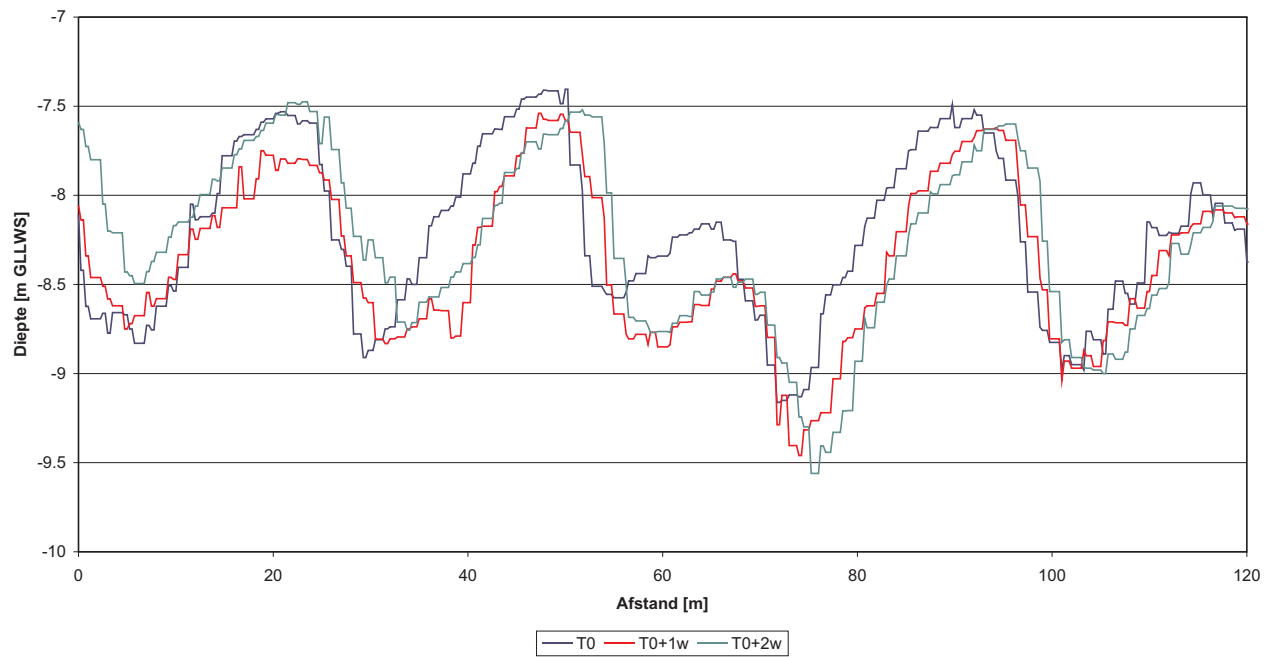


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

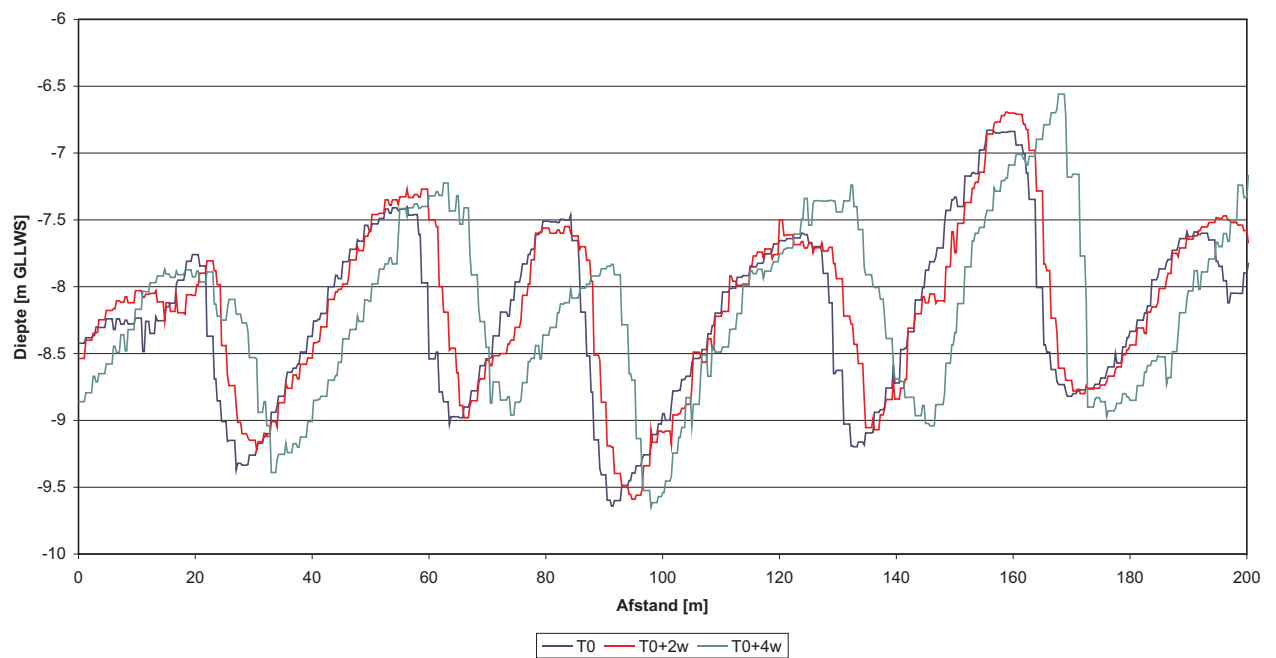
M 791/02

Figuur 187

Bodemvormen duinlocatie 9



Bodemvormen duinlocatie 10



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen

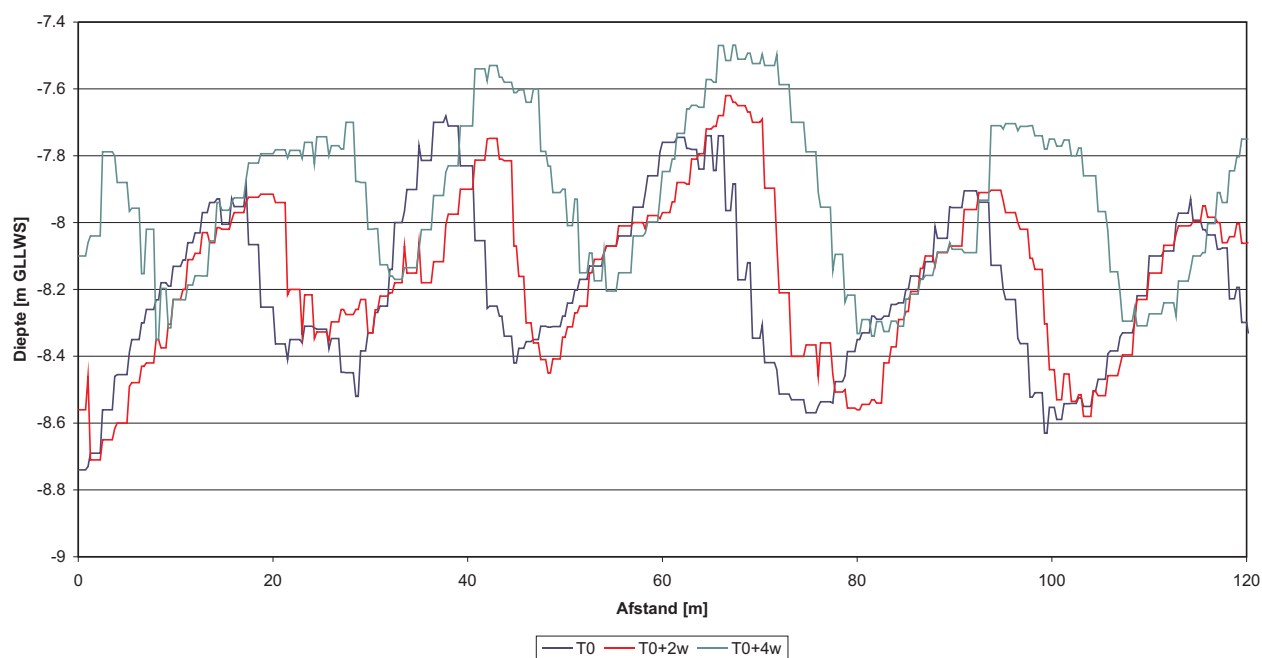


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

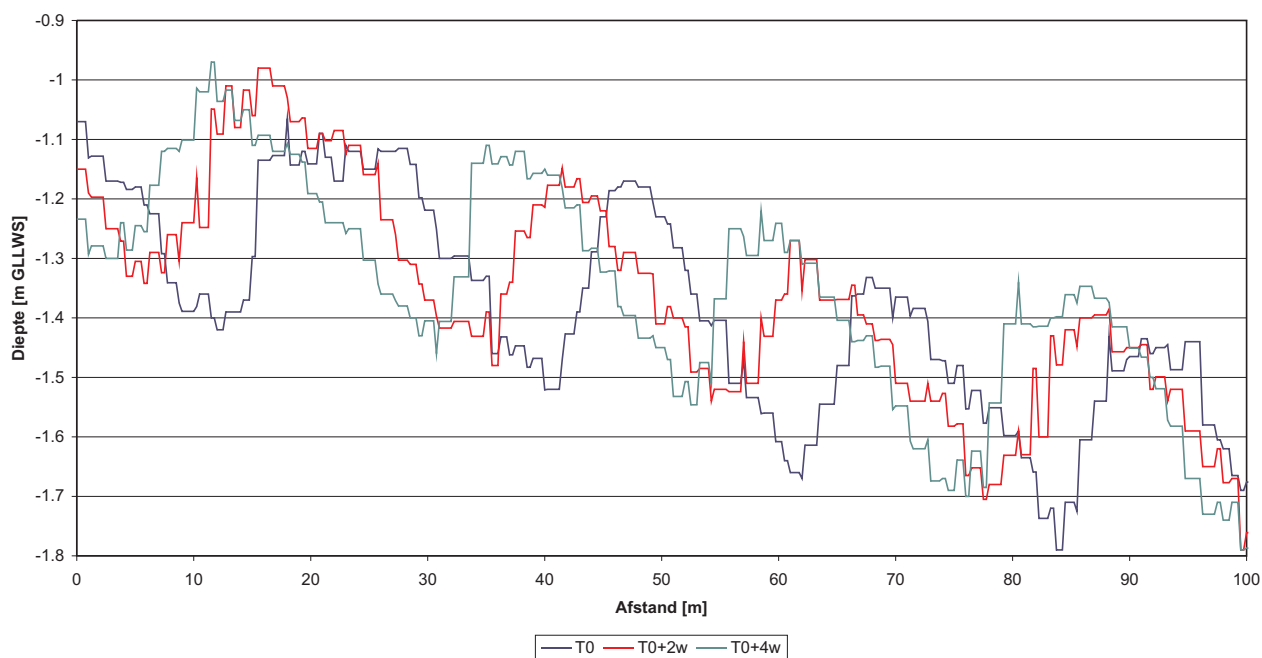
M 791/02

Figuur 188

Bodemvormen duinlocatie 11



Bodemvormen duinlocatie 12



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen

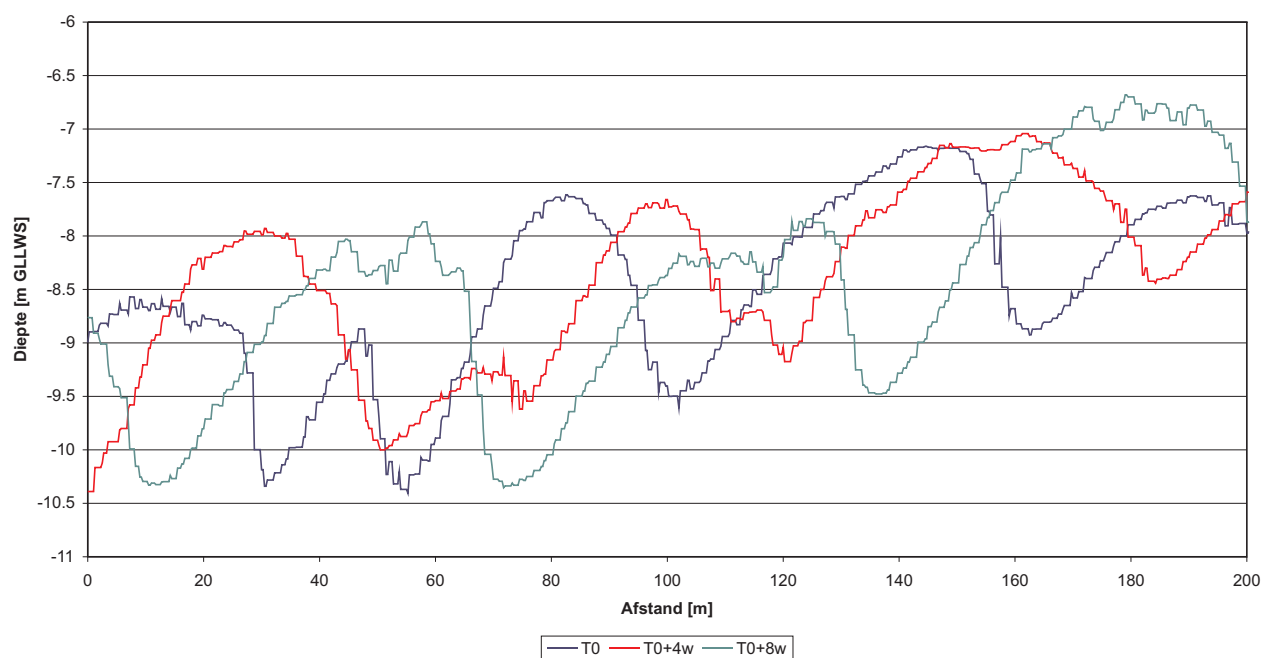


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

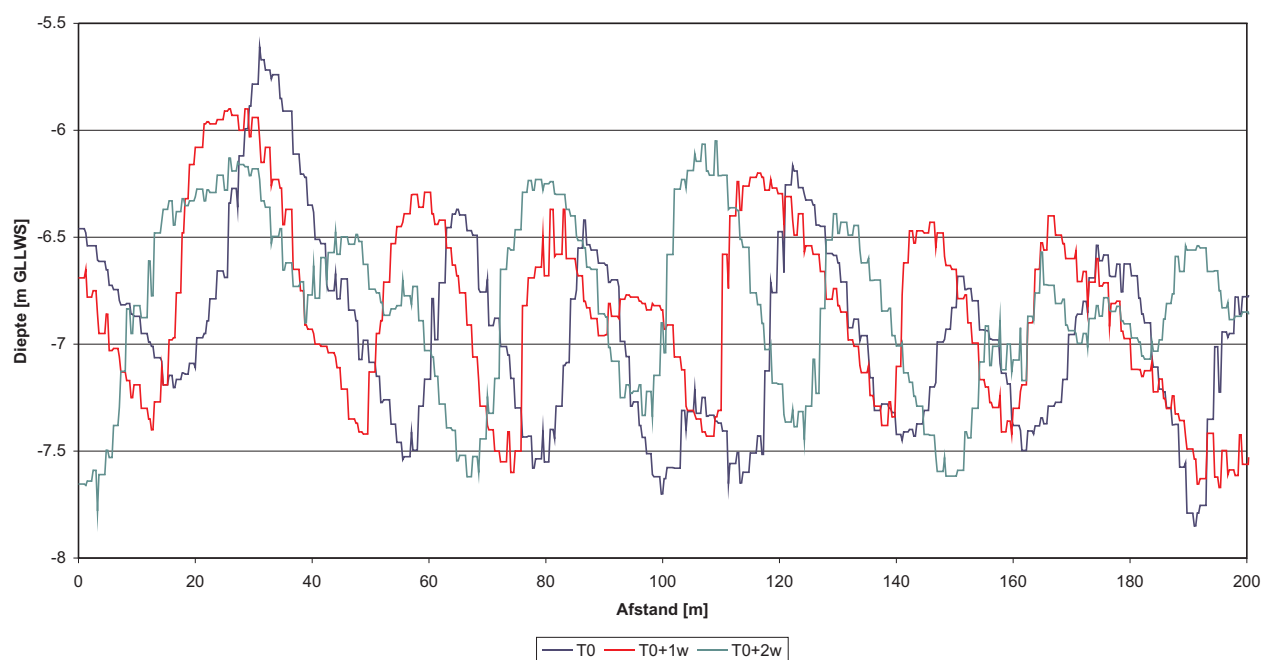
M 791/02

Figuur 189

Bodemvormen duinlocatie 13



Bodemvormen duinlocatie 14



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen

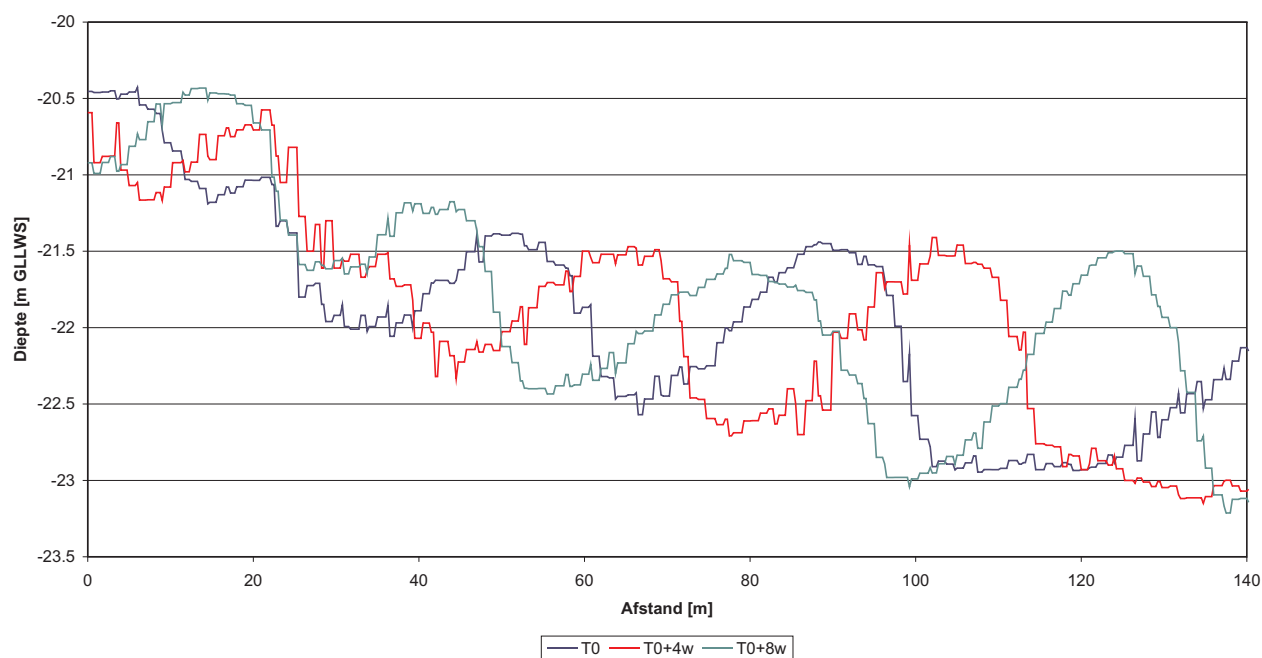


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

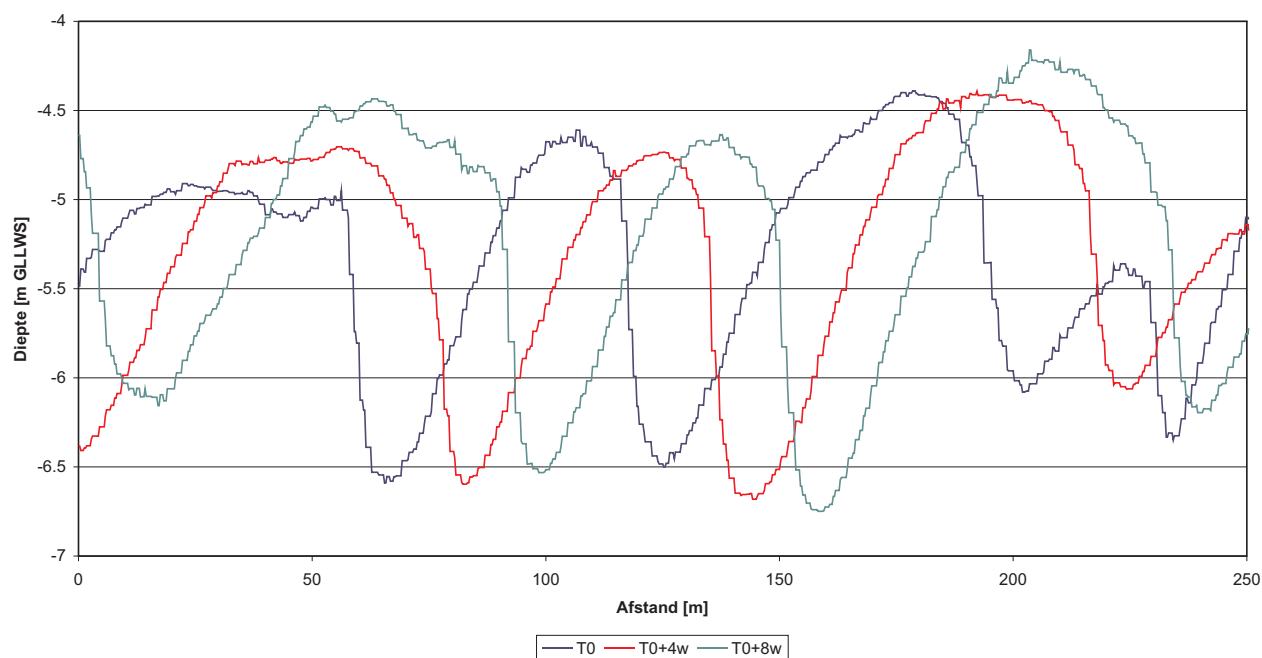
M 791/02

Figuur 190

Bodemvormen duinlocatie 15



Bodemvormen duinlocatie 16



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen

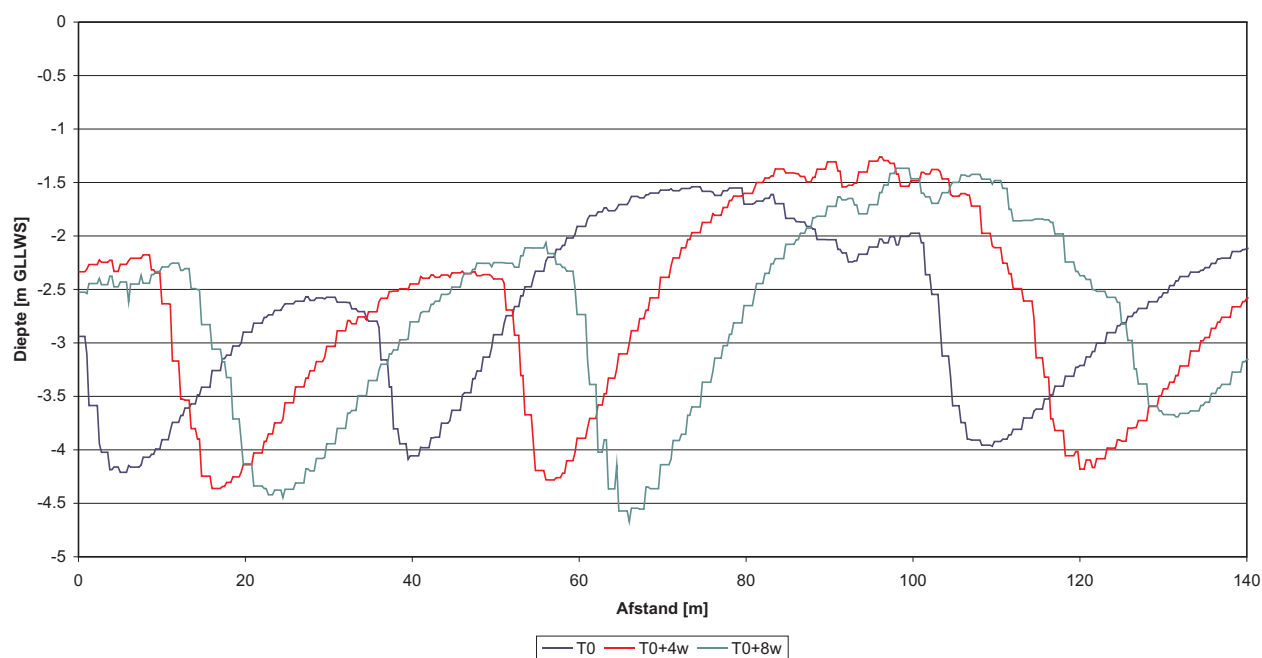


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

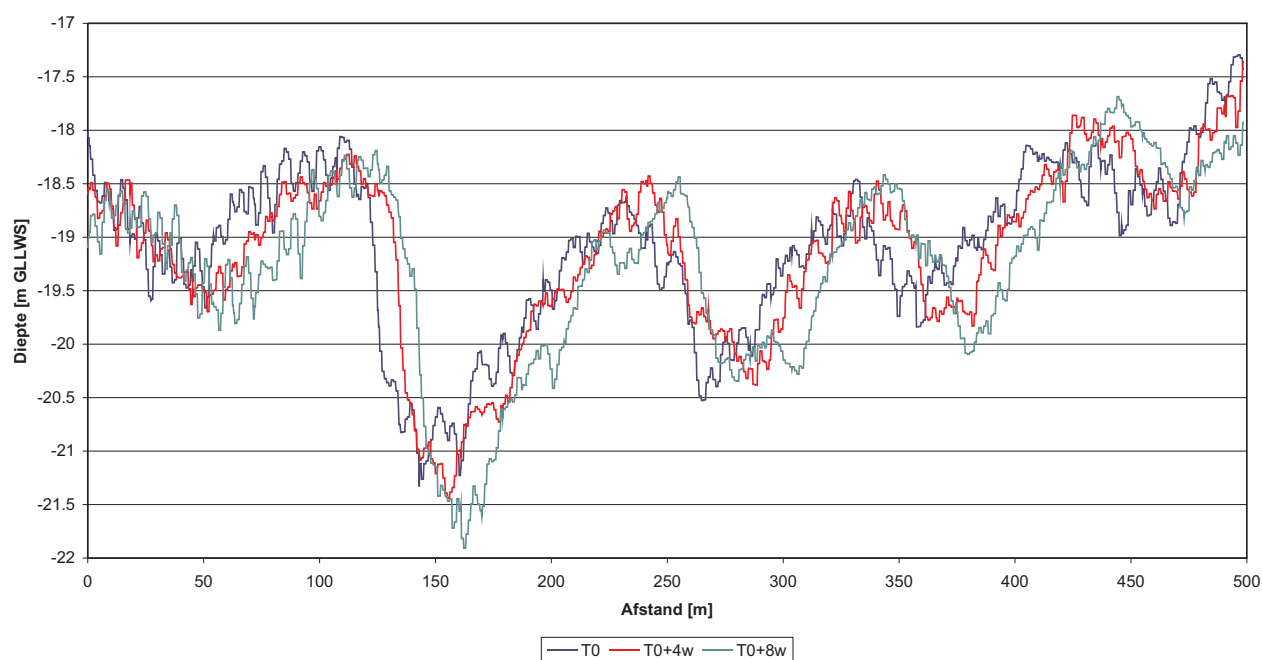
M 791/02

Figuur 191

Bodemvormen duinlocatie 17



Bodemvormen duinlocatie 18



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen

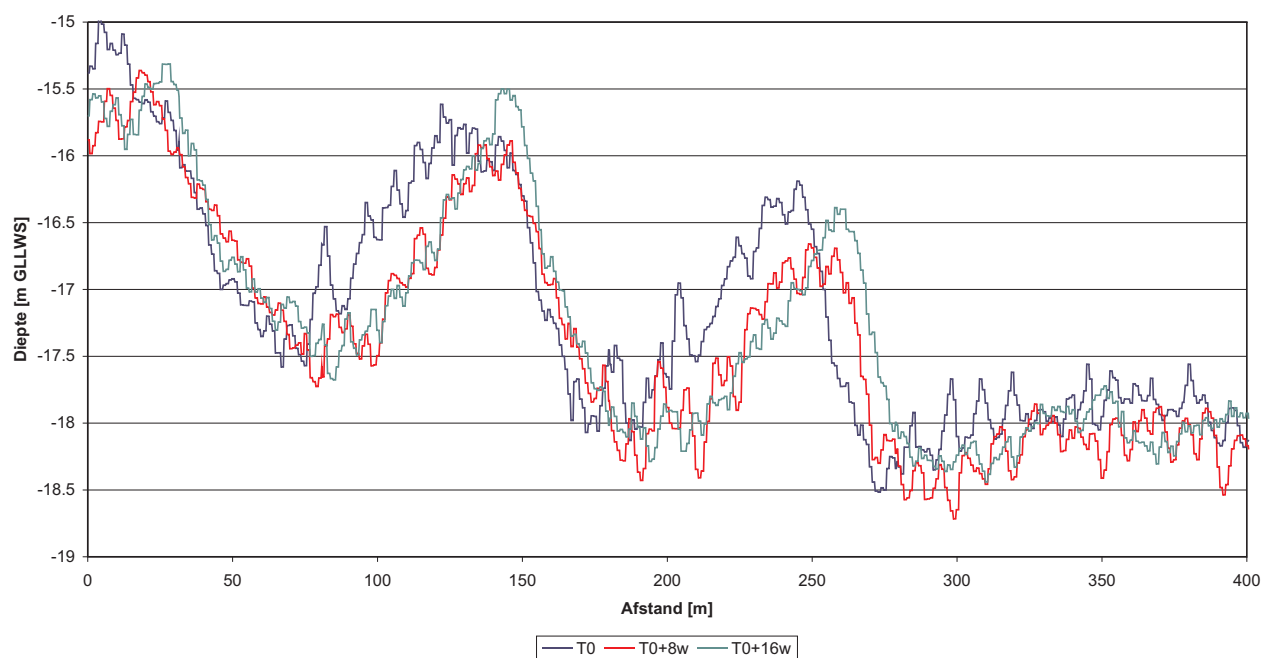


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

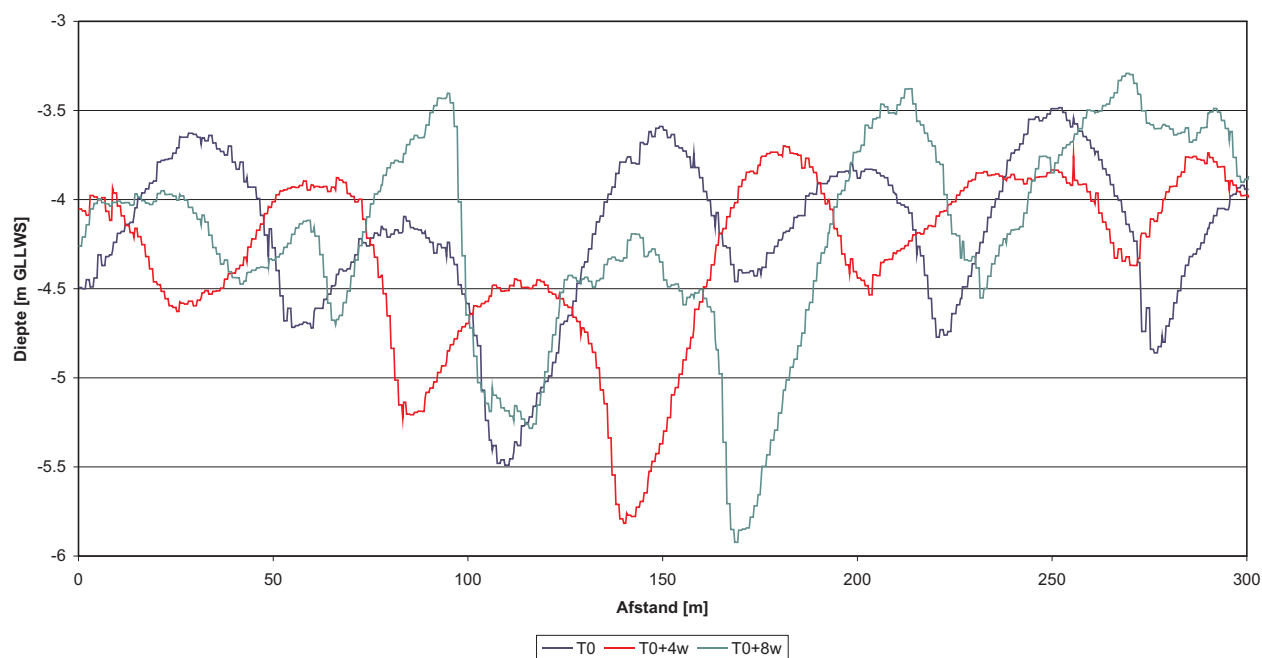
M 791/02

Figuur 192

Bodemvormen duinlocatie 19



Bodemvormen duinlocatie 20



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen

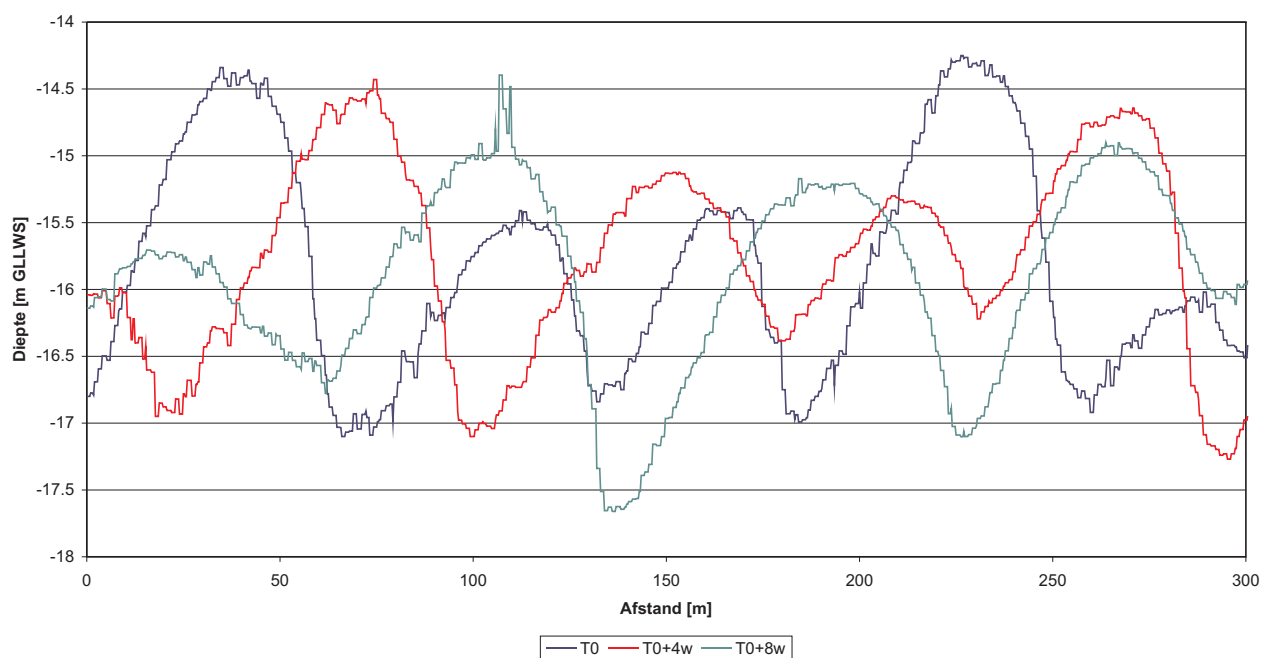


WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

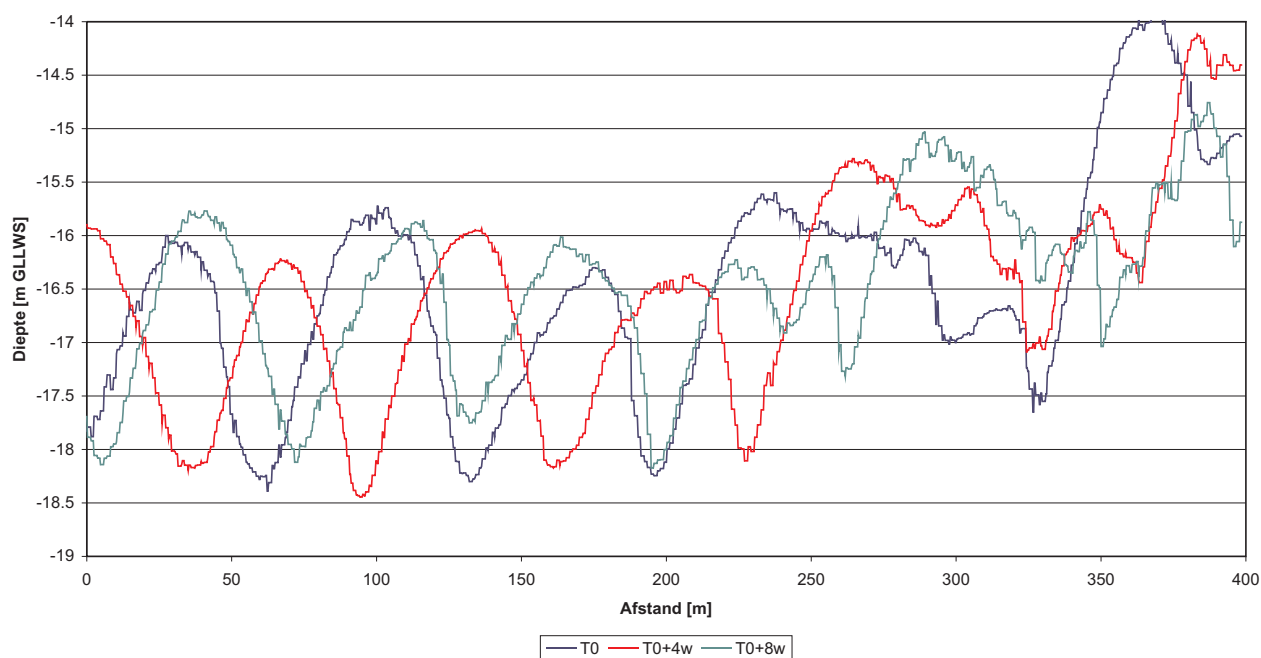
M 791/02

Figuur 193

Bodemvormen duinlocatie 21



Bodemvormen duinlocatie 22



Voortplanting bodemvormen individuele langsrassen



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
Borgerhout - Antwerpen

M 791/02

Figuur 194

BIJLAGE B : OVERZICHT VAN DE BESCHIKBARE MORFOLOGI- SCHE MONITORINGSPLANS

Peiling	Datum peiling	Zone
T0	06/11/2004	zone A
T1	23/11/2004	zone B
T2	29/11/2004	zone B
T3	13/12/2004	zone B
T4	22/12/2004	zone B
T5	10/01/2005	zone A
T6	25/01/2005	zone B
T7	03/02/2005	zone B
T8	09/02/2005	zone B
T9	17/02/2005	zone B
T10	24/02/2005	zone A
T11	04/03/2005	zone B
T12	10/03/2005	zone B
T13	17/03/2005	zone B
T14	11/04/2005	zone B
T15	02/05/2005	zone B
T16	23/05/2005	zone B
T17	20/06/2005	zone A
T18	18/07/2005	zone B
T19	18/08/2005	zone B
T20	14/09/2005	zone A
T21	14/10/2005	zone A
T22	15/11/2005	zone B
T23	13/12/2005	zone B

BIJLAGE C : BEREKENING VERHOUDING BEUNVOLUME – IN SITU VOLUME OP BASIS VAN BIS DATA

Daar opgebaggerde specie in de beun van het baggerschip een groter percentage aan water bevat, is er een verschil in densiteit tussen de specie in de beun van het baggerschip en in situ. Oorzaak van deze lagere densiteit in de beun van het baggerschip is het gebrek aan tijd voor de baggerspecie om te consolideren, of beter te ontwateren. In voorgaande studies werd hiervoor volgende vuistregel gehanteerd: het beunvolume is 10 % groter dan het in situ volume.

In het Bagger Informatie Systeem (BIS) van afdeling Maritieme Toegang wordt naast het beunvolume tevens het gewicht van de lading (gemeten door inzinking van het baggerschip) bijgehouden. Deze 2 parameters laten toe om de beundensiteit te bepalen. In onderstaande tabel wordt de jaarlijks gemiddelde beundensiteit voor 6 stortlocaties in de Westerschelde gegeven. Wat hierbij opvalt is de lage densiteit van de specie gestort in de Schaar van Spijkerplaat, wat mogelijk wijst op de aanwezigheid van slib in de stortspecie. Vermoedelijk is dit slib afkomstig van de drempel van Borssele. Deze densiteiten werden hier berekend, een analyse van de verschillen in densiteiten maakt geen onderdeel uit van deze studie maar dient in de toekomst zeker te gebeuren.

Stortlocatie	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Schaar Spijkerplaat	1.68	1.74	1.38	1.62	1.58	1.39
Vloedschaar Everingen	1.67	1.67	1.68	1.68	1.82	1.82
Ellewoutsdijk	1.78	1.88	1.82	-	1.84	1.85
Gat Ossenis	1.86	1.91	1.85	1.86	1.89	1.88
Biezelingse Ham	1.84	1.90	1.85	-	-	1.86
Schaar Waarde	1.79	1.88	1.90	1.87	1.92	1.86

Tabel C.1 : In beun densiteit (ton/m³) per stortlocatie, berekend uit BIS data

Om de afwijking van het beunvolume ten opzichte van het in situ volume te berekenen, dient de in situ densiteit gekend te zijn. Om deze densiteit te bepalen, wordt verondersteld dat de densiteit van het sediment 2.65 ton/m³ bedraagt, terwijl het water een densiteit van 1.00 ton/m³ heeft. Met een vooropgestelde porositeit van 0.4 geeft dit een densiteit van het bodemsediment (volledig verzadigd verondersteld) van 1.99 ton/m³, of afgerond 2.00 ton/m³.

In tabel C.2 wordt de gemiddelde beundensiteit voor de 6 stortlocaties uit tabel C.1 gegeven. Het betreft hier het gemiddelde voor de periode 2000 tot en met 2005. Naast de beundensiteit wordt tevens de procentuele afwijking ten opzichte van de in situ densiteit (hier 2.00 ton/m³ verondersteld) gegeven. Deze afwijking geeft tevens de verhouding tussen in situ volume en beunvolume aan, gezien densiteit en volume omgekeerd evenredig zijn. In voorgaande studies werd voor deze afwijking een waarde van 10 % vooropgesteld.

Stortlocatie	Gemiddelde densiteit (ton/m ³)	Afwijking in situ - beunvolume (%)
Schaar Spijkerplaat	1.57	21.7
Vloedschaar Everingen	1.72	13.9
Ellewoutsdijk	1.83	8.3
Gat Ossenis	1.87	6.3
Biezelingse Ham	1.86	6.8
Schaar Waarde	1.87	6.5

Tabel C.2 : Vijfjaarlijks gemiddelde beundensiteit per stortlocatie, berekend uit BIS data

BIJLAGE D : OVERZICHT PEILVAKKEN EN BIJHORENDE INGREEPLOCATIES

Ingreeplocaties per peilvak.

Westerschelde - peilvak 6

- Baggeren: - Drempel van Vlissingen
- Sloehaven (deels)
- Storten: - Schaar van de Spijkerplaat
- Zandwinning: - dijkversterking Vlissingen

Westerschelde - peilvak 5

- Baggeren: - Sloehaven (deels)
- Drempel van Borssele
- Pas van Terneuzen
- Storten: - Schaar van de Spijkerplaat (deels)
- Vloedschaar Everingen
- Ellewoutsdijk (deels)
- Zandwinning: - vak IIa, IIb, IIc

Westerschelde - peilvak 4

- Baggeren: - Put van Terneuzen
- Gat van Ossenis (deels)
- Storten: - Ellewoutsdijk (deels)
- Ebschaar Everingen
- Zandwinning: - vak IIIf, IIIg
- vak Ellewoutsdijk
- vak tunnel Baarland

Westerschelde - peilvak 3

- Baggeren: - Gat van Ossenis (deels)
- Rand en platen van Ossenis
- Overloop van Hansweert
- Drempel van Hansweert (deels)
- Storten: - Gat van Ossenis
- Biezelingse Ham
- Platen van Ossenis
- Zandwinning: - vak IVb, IX
- vak Perkpolder

Westerschelde - peilvak 2

- Baggeren: - Drempel van Hansweert (deels)
- Drempel van Walsoorden

- Drempel en Overloop van Valkenisse (deels)
- Storten: - Schaar van Waarde
- Zandwinning: - vak Va, Vb, Vc
- vak VIIIa, VIIIb, VIIIc, VIId, VIIf, VIIf, VIIfg

Westerschelde - peilvak 1

- Baggeren: - Drempel en Overloop van Valkenisse (deels)
- Drempel van Bath
- Storten: - Schaar van de Noord
- Put Sapanca
- Zandwinning: - geen

Beneden Zeeschelde - vak Saeftinge-Doel

- Baggeren: - Rand en plaat Doel
- Drempel van Zandvliet
- Zandvlietsluis
- Drempel van Frederik (deels)
- Storten: - Schaar van Ouden Doel
- Zandwinning: - Schaar van Ouden Doel

Beneden Zeeschelde - vak Doel-fort Filip

- Baggeren: - Drempel van Frederik (deels)
- Drempel van Lillo
- Drempel de Parel
- Kallosluis
- Storten: - geen
- Zandwinning: - geen

Beneden Zeeschelde - vak fort Filip-Oosterweel

- Baggeren: - Drempel van Krankeloon
- Storten: - Punt van Melsele
- Oosterweel
- Zandwinning: - geen

Beneden Zeeschelde - vak Rede van Antwerpen

- Baggeren: - geen
- Storten: - Plaat van Boomke
- Vlake van Hoboken
- Zandwinning: - geen

Beneden Zeeschelde - vak Burcht-Rupel

- Baggeren: - geen
- Storten: - geen
- Zandwinning: - geen

Verdeling gemeenschappelijke ingreeplocaties uit BIS

BAGGERLOCATIES

Sloehaven (enkel gestort in 2004)

2004:	Westerschelde peilvak 6	49.4 %
	Westerschelde peilvak 5	50.6 %

Gat van Ossenisse

2000:	Westerschelde peilvak 4:	95.4 %
	Westerschelde peilvak 3:	4.6 %
2001:	Westerschelde peilvak 4:	2.9 %
	Westerschelde peilvak 3:	97.1 %
2002:	Westerschelde peilvak 4:	0.0 %
	Westerschelde peilvak 3:	100.0 %
2003:	Westerschelde peilvak 4:	0.0 %
	Westerschelde peilvak 3:	100.0 %
2004:	Westerschelde peilvak 4:	0.0 %
	Westerschelde peilvak 3:	100.0 %
2005:	Westerschelde peilvak 4:	0.0 %
	Westerschelde peilvak 3:	100.0 %

Drempel van Hansweert

2000:	Westerschelde peilvak 3:	51.5 %
	Westerschelde peilvak 2:	48.5 %
2001:	Westerschelde peilvak 3:	47.6 %
	Westerschelde peilvak 2:	52.4 %
2002:	Westerschelde peilvak 3:	43.3 %
	Westerschelde peilvak 2:	56.7 %
2003:	Westerschelde peilvak 3:	42.5 %
	Westerschelde peilvak 2:	57.5 %
2004:	Westerschelde peilvak 3:	33.0 %
	Westerschelde peilvak 2:	67.0 %
2005:	Westerschelde peilvak 3:	42.0 %
	Westerschelde peilvak 2:	58.0 %

Drempel en Overloop van Valkenisse

2000:	Westerschelde peilvak 2:	66.8 %
	Westerschelde peilvak 1:	33.2 %
2001:	Westerschelde peilvak 2:	58.3 %
	Westerschelde peilvak 1:	41.7 %
2002:	Westerschelde peilvak 2:	45.9 %
	Westerschelde peilvak 1:	54.1 %
2003:	Westerschelde peilvak 2:	49.3 %
	Westerschelde peilvak 1:	50.7 %
2004:	Westerschelde peilvak 2:	38.9 %
	Westerschelde peilvak 1:	61.1 %
2005:	Westerschelde peilvak 2:	74.1 %
	Westerschelde peilvak 1:	25.9 %

Drempel van Frederik

2000:	Westerschelde Saef-Doel:	73.4 %
	Westerschelde Doel-Filip:	26.6 %
2001:	Westerschelde Saef-Doel:	70.4 %
	Westerschelde Doel-Filip:	29.6 %
2002:	Westerschelde Saef-Doel:	69.7 %
	Westerschelde Doel-Filip:	30.3 %
2003:	Westerschelde Saef-Doel:	77.4 %
	Westerschelde Doel-Filip:	22.6 %
2004:	Westerschelde Saef-Doel:	88.5 %
	Westerschelde Doel-Filip:	11.5 %
2005:	Westerschelde Saef-Doel:	81.4 %
	Westerschelde Doel-Filip:	18.6 %

STORTLOCATIES

Schaar van de Spijkerplaat

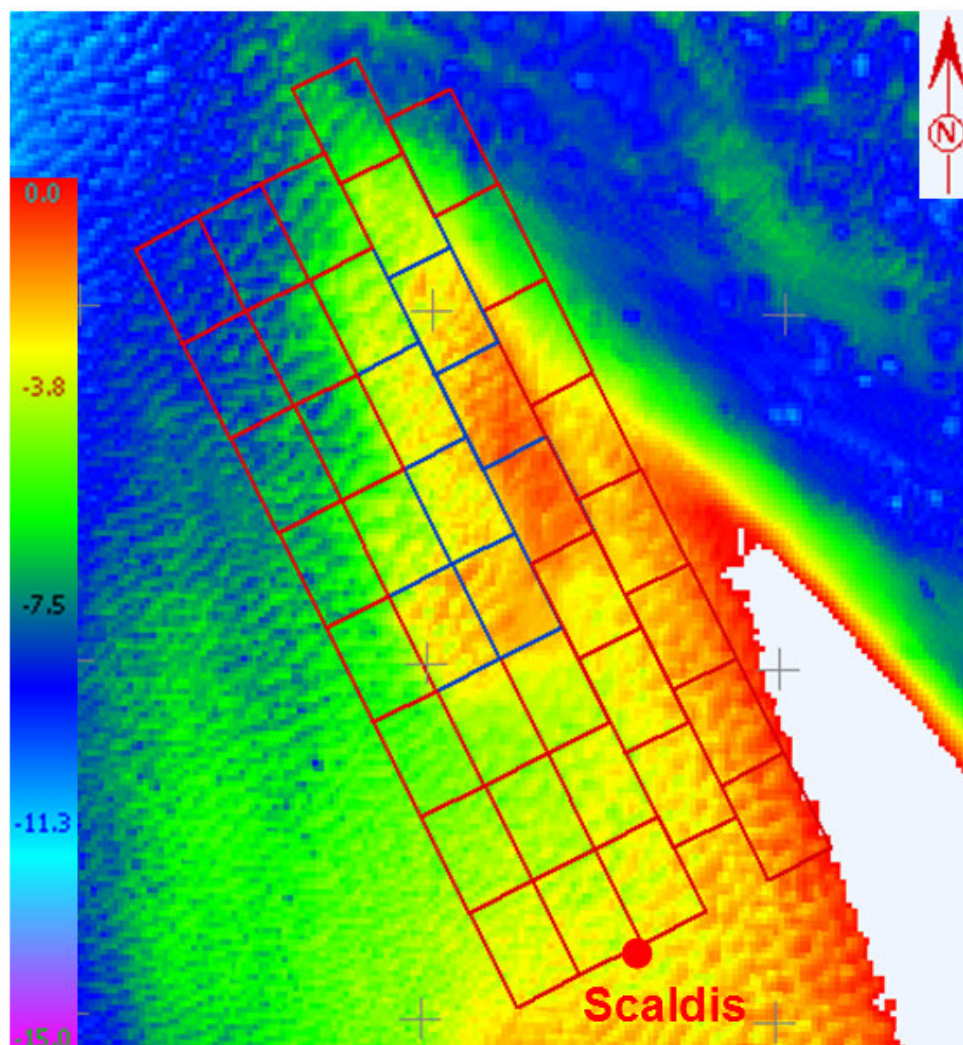
2000:	Westerschelde peilvak 6:	95.7 %
	Westerschelde peilvak 5:	4.3 %
2001:	Westerschelde peilvak 6:	97.1 %
	Westerschelde peilvak 5:	2.9 %
2002:	Westerschelde peilvak 6:	100.0 %
	Westerschelde peilvak 5:	0.0 %
2003:	Westerschelde peilvak 6:	100.0 %
	Westerschelde peilvak 5:	0.0 %
2004:	Westerschelde peilvak 6:	100.0 %
	Westerschelde peilvak 5:	0.0 %
2005:	Westerschelde peilvak 6:	100.0 %
	Westerschelde peilvak 5:	0.0 %

Schaar van de Spijkerplaat

2000:	Westerschelde peilvak 5:	2.8 %
	Westerschelde peilvak 4:	97.2 %
2001:	Westerschelde peilvak 5:	8.5 %
	Westerschelde peilvak 4:	91.5 %
2002:	Westerschelde peilvak 5:	0.0 %
	Westerschelde peilvak 4:	100.0 %
2003:	Westerschelde peilvak 5:	0.0 %
	Westerschelde peilvak 4:	100.0 %
2004:	Westerschelde peilvak 5:	0.0 %
	Westerschelde peilvak 4:	100.0 %
2005:	Westerschelde peilvak 5:	0.0 %
	Westerschelde peilvak 4:	100.0 %

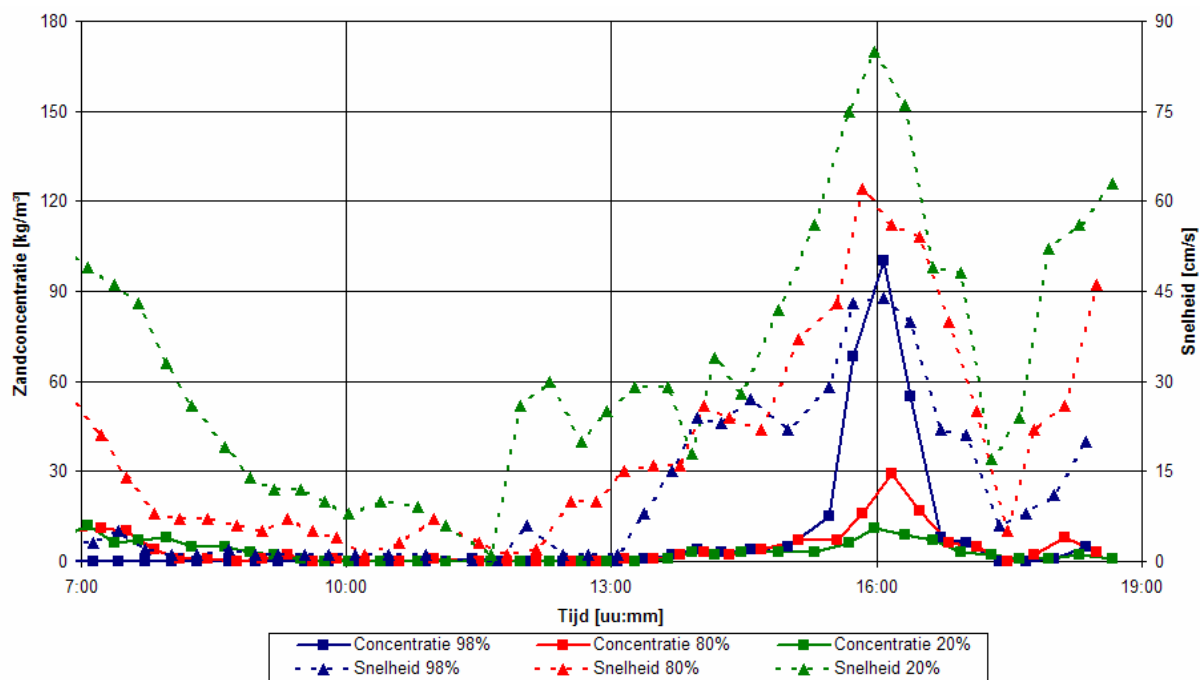
BIJLAGE E : SCHATTING SEDIMENTTRANSPORT IN STORTVAK “PROEFSTORTING WALSOORDEN”.

In het kader van de proefstorting bij de plaat van Walsoorden werden door de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium enkele sedimenttransport metingen uitgevoerd [14]. Tijdens het haalbaarheids-onderzoek werd op 3 juni 2003 een dergelijke meting uitgevoerd op meetlocatie “Scaldis”. Zoals op Figuur E.1 te zien is, ligt deze meetlocatie aan de opwaartse rand van het rekenrooster, tussen rekenvak C9 en D9.



Figuur E.1 : Aanduiding meetlocatie “Scaldis”.

Op meetlocatie “Scaldis” werd het sedimenttransport gemeten met behulp van een AZTM. Op 6 locaties in de waterkolom (respectievelijk 98, 95, 80, 60, 40 en 20 % van de waterdiepte) werd zowel de sedimentconcentratie als de lokale snelheid opgemeten. Combinatie van beiden geeft het lokale sedimenttransport, interpolatie over de verticale geeft een beeld van het totale sedimenttransport over de waterkolom. Op Figuur E.2 worden enkel resultaten voor de meetlocatie Scaldis gevisualiseerd.

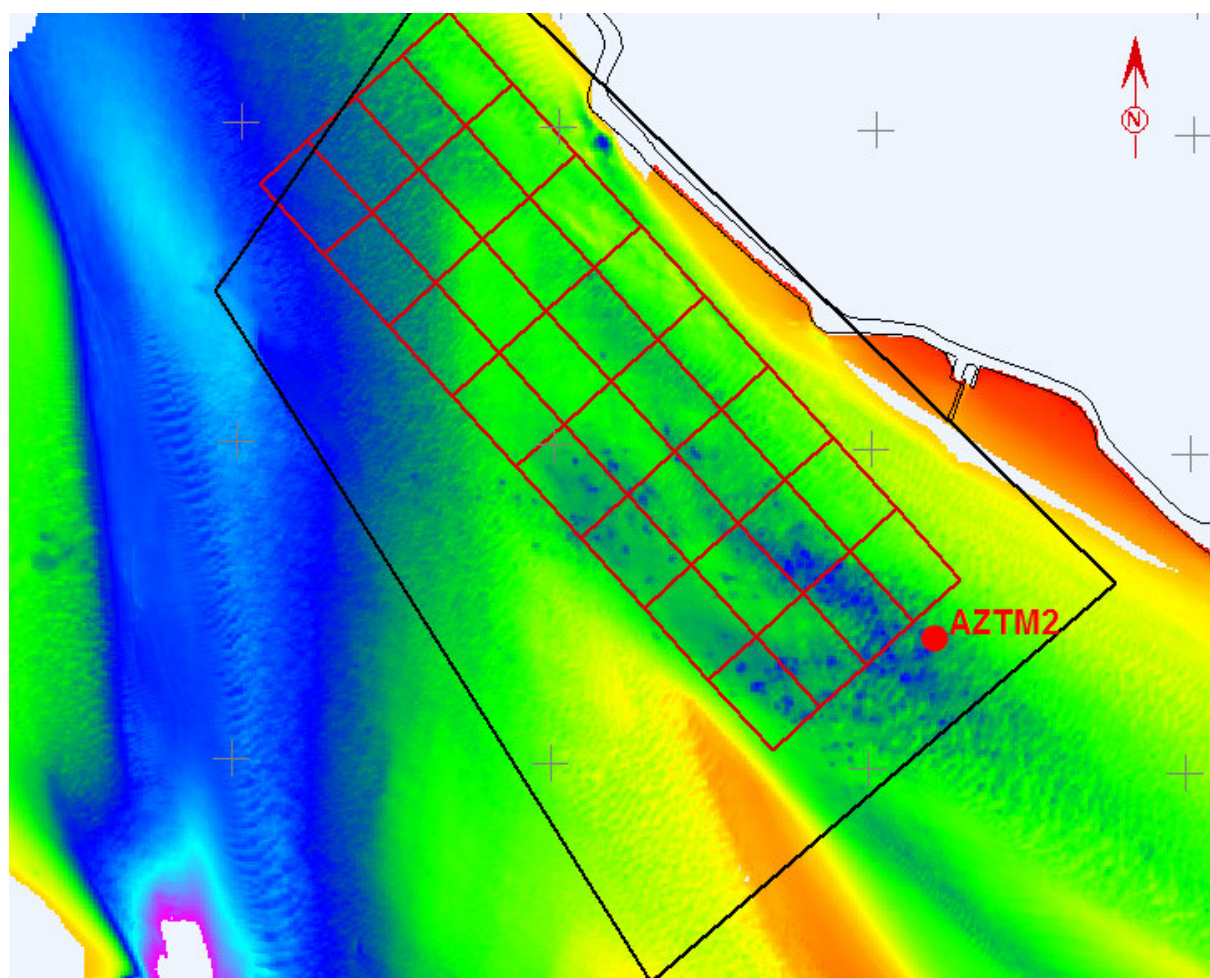


Figuur E.2 : Stroom- en sedimentmeting meetlocatie "Scaldis".

Uitgaande van de resultaten van deze meetcampagne werd een netto-zandtransport van 1.19 m^3 zand per eenheidsbreedte per getij berekend. Dit netto-transport is vloedgedomineerd. Een kritische kanttekening bij dit netto-transport is dat de meetcampagne op 3 juni 2003 werd uitgevoerd bij een springtij. Dit resulteert vermoedelijk in een overschatting van het transport bij extrapolatie naar een volledige doottij-springtij cyclus.

BIJLAGE F : SCHATTING SEDIMENTTRANSPORT IN STORTVAK “SCHAAR VAN WAARDE”.

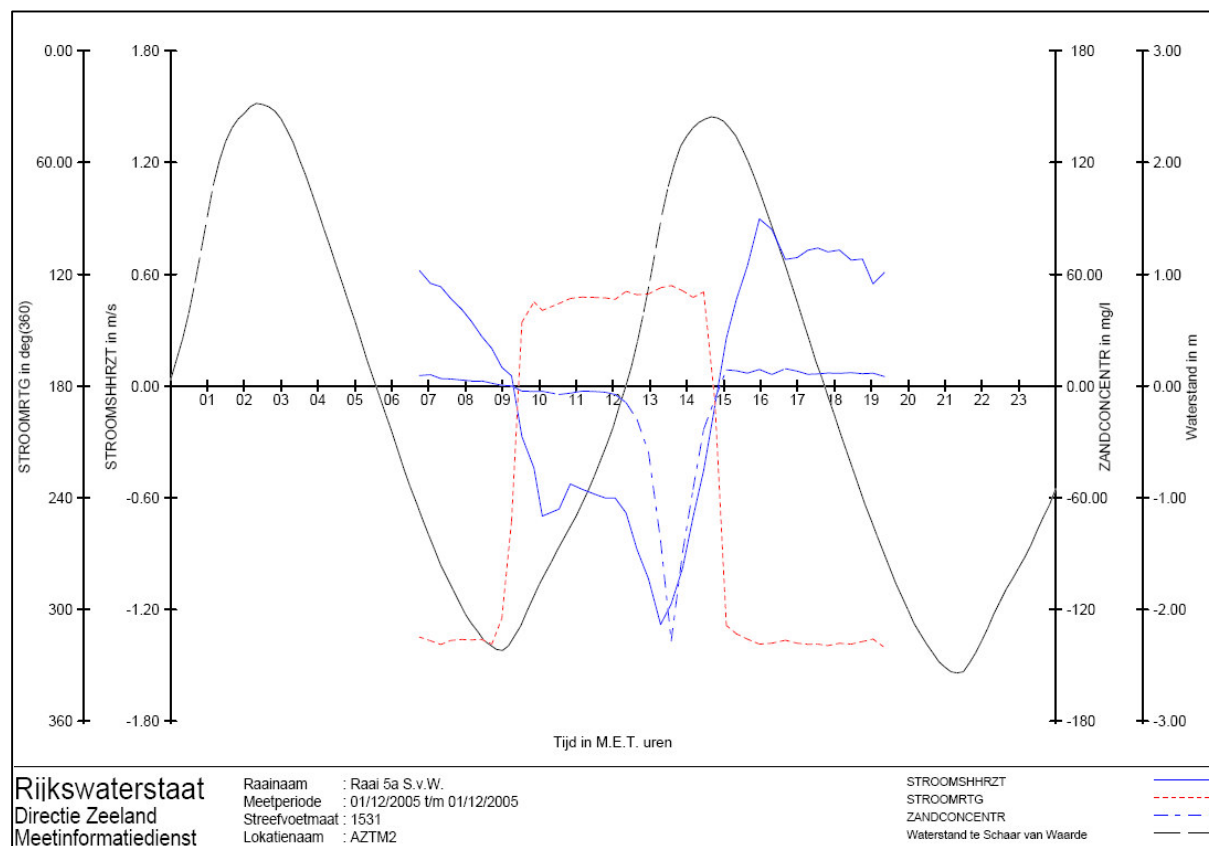
Door RIKZ worden in het kader van MOVE (Monitoring Verruiming Westerschelde) regelmatig debiet- en sedimentmetingen uitgevoerd. Op 1 december 2005 werd een 13u meting uitgevoerd gedurende dewelke de stroming en het sedimenttransport in het punt “AZTM2” werd opgemeten [15]. Zoals op Figuur F.1 te zien is, is deze meetlocatie gesitueerd iets voorbij de afwaartse rand van rekenvakken B8 en C8.



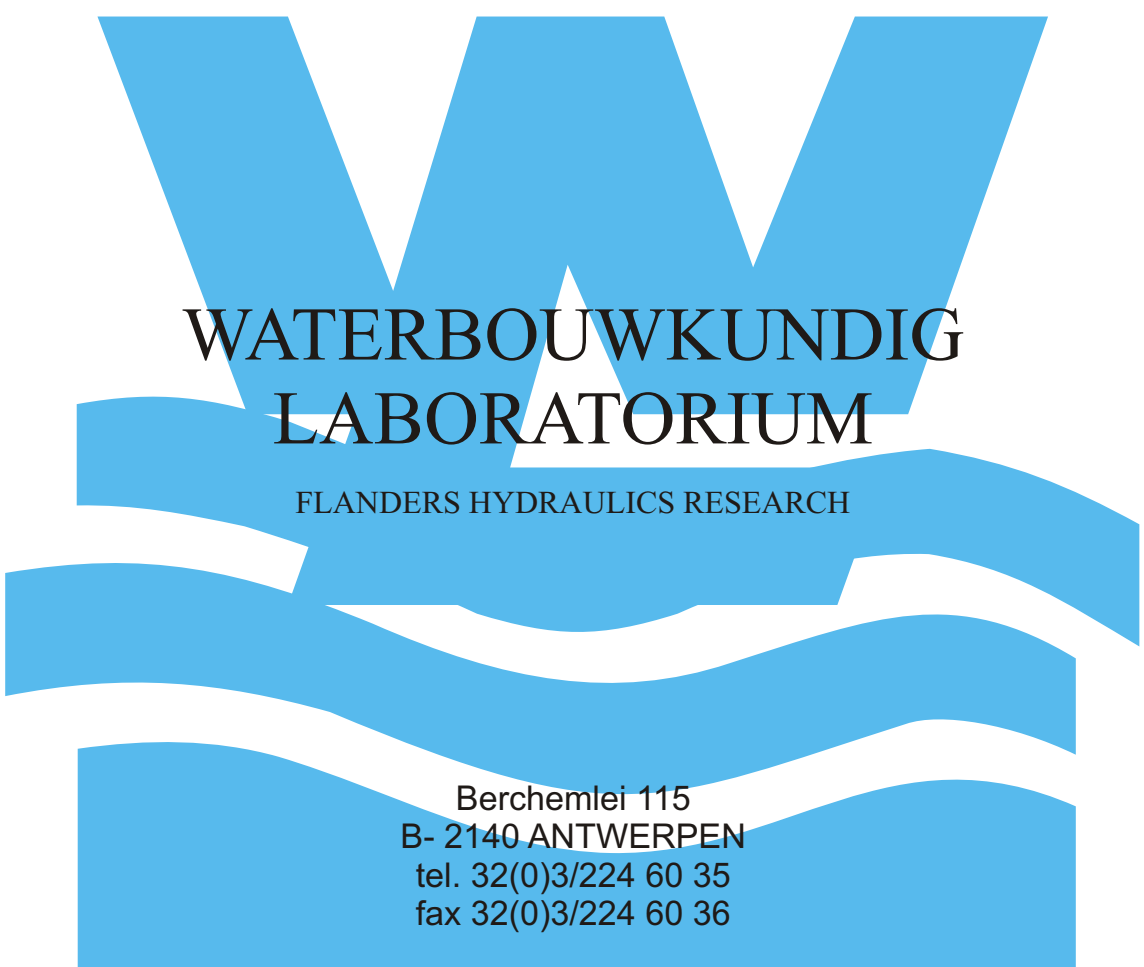
Figuur F.1 : Aanduiding meetlocatie “AZTM2”.

Op Figuur F.2 zijn de resultaten van de 13u meting in dit meetpunt weergegeven. Deze figuur is overgenomen uit rapport [15]. Door de stroomsnelheid te vermenigvuldigen met de zandconcentratie – rekening houdend met de watediepte – wordt een zandtransport bekomen. Rekening houdend met de richting van dit transport (veronderstelling zelfde richting als stroming) kan een netto-transport over het getij worden berekend. Voor meetlocatie “AZTM2” geeft dit een netto-transport van ongeveer 1.81 m³ zand per eenheidsbreedte per getij, gericht volgens de vloedrichting. Er dient hier echter wel opgemerkt te worden dat het tij van 1 december 2005 (dag van de meetcampagne) tussen een gemiddeld tij en een springtij is. Dit resulteert vermoedelijk in een overschatting van het sedimenttransport over een volledige doottij-springtij cyclus. Een tweede opmerking betreft de zandwinning: daar het meetpunt “AZTM2” dicht bij de vergunde zandwin gebieden ligt, kan deze activiteit een belangrijke invloed

hebben op de gemeten sedimenttransporten. Uiteraard speelt ook de stortactiviteit in het stortvak “Schaar van Waarde” een rol.



Figuur F.2 : Stroom- en sedimentmeting meetlocatie “AZTM2”.



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

FLANDERS HYDRAULICS RESEARCH

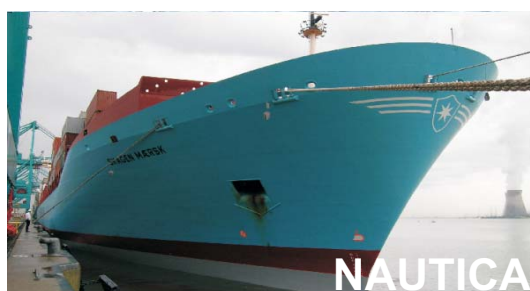
Berchemlei 115
B- 2140 ANTWERPEN
tel. 32(0)3/224 60 35
fax 32(0)3/224 60 36

e-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

<http://watlab.lin.vlaanderen.be>

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

FLANDERS HYDRAULICS RESEARCH



Vlaamse overheid
Departement Mobiliteit en Openbare Werken
afdeling Waterbouwkundig Laboratorium
Berchemlei 115 - B-2140 Antwerpen